

Dimensionamento de um equipamento para refrigeração de produtos hortofrutícolas em escala laboratorial

André Miguel Duarte Barbosa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Alimentar

Orientador: Doutor Domingos Paulo Ferreira de Almeida
Co-orientador: Doutor Adriano Saquet

Júri:

PRESIDENTE - Doutora Margarida Gomes Moldão Martins, Professora Auxiliar com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

VOGAIS – Doutor Vitor Manuel Manuel Delgado Alves, Professor Auxiliar com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientadora;

- Doutor Adriano Arriel Saquet, Professor Titular com agregação do Instituto Federal Farropilha – Brasil.

AGRADECIMENTOS

A realização e conclusão do presente trabalho, não seria possível sem o apoio técnico, científico e a amizade de algumas pessoas às quais dirijo um profundo agradecimento.

Um agradecimento ao Professor Domingos Almeida por ter confiado em mim para este desafio e ter aceitado a orientação da minha dissertação de mestrado. Por toda orientação científica, conhecimentos transmitidos e competência.

Ao Professor Adriano Saquet, pela co-orientação deste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos no âmbito da presente tese, por ter sido uma peça fundamental na projeção do equipamento, pela realização, em conjunto comigo, das atividades experimentais e por todo o seu otimismo e boa disposição, demonstrados.

À empresa Frincor, pela construção do equipamento à imagem da projeção, uma vez que não era possível essa construção no ISA, por toda a disponibilidade para me receber e abertura para criar algo inovador, sem receio de arriscar. Pela ajuda na procura das melhores soluções e equipamentos a instalar e forma de tudo encaixar da melhor forma.

Aos meus amigos, um sincero agradecimento a todos eles, que sempre me felicitaram nos bons momentos e me apoiaram nas piores alturas, principalmente, pela companhia que me fizeram e pelos momentos que me proporcionaram dentro e fora da faculdade. Um especial agradecimento ao André Elias pelo companheiro que foi nestes anos de formação e ao Luís Miguel Tangarrinha por todo o seu apoio e dedicação, o meu muito obrigado.

Por último e mais importante, um agradecimento muito especial a toda a minha família. Quero agradecer aos meus pais por todo o esforço que fizeram ao longo destes anos de formação superior, por terem sido o meu porto de abrigo, acreditando sempre nas minhas capacidades, nunca me deixando ir abaixo, por tudo o que não puderam realizar para me dar estabilidade durante a minha formação académica, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, que sabem não ter sido um mar de rosas e o esforço que fiz para chegar aqui. À minha irmã por todo o apoio e boa disposição que transmite e por me alegrar quando estive em alturas más, é um orgulho para mim chamar-te irmã, poderás sempre contar comigo piquena. Por fim, a duas pessoas que são mais que meus pais, aos meus avós, a eles devo imenso, devo a educação que sempre me deram, os princípios e valores que me transmitiram e todo o apoio ao longo da minha vida. A vocês os cinco devo, em grande parte, o fim de mais uma etapa da minha vida e por isso, tenho a dizer que são as pessoas que mais amo neste mundo, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

A refrigeração e o controlo da temperatura são essências para a conservação de produtos hortofrutícolas.

Esta dissertação foi elaborada para contribuir para melhorar a qualidade dos produtos hortofrutícolas na cadeia de abastecimento e também para estudos com fins académicos. Para isso foi dimensionado e construído um equipamento a nível experimental, capaz de efetuar a refrigeração de produtos hortofrutícolas.

O equipamento foi construído no Instituto Superior de Agronomia e poderá ser requisitado por todos os que reconheçam nele um instrumento útil para o desenvolvimento de trabalhos em produtos hortofrutícolas.

O equipamento tem cerca de 5m² de área útil, na qual serão inseridos 12 frascos para colocar amostra. No total tem 7,12m² de área e é constituído por aço inoxidável, um isolamento em poliuretano e um revestimento exterior de alumínio. Foi instalado um sistema de frio, juntamente com um sistema de circulação de uma solução de água glicolada, capaz de retirar calor aos produtos hortofrutícolas, refrigerando-os.

Verificou-se que o equipamento é estanque, e tem boa capacidade de arrefecimento da solução de água glicolada que circulando na área útil retira calor à mesma, não criando nenhum gradiente de temperatura no seu interior, pelo bom funcionamento da bomba de circulação.

No teste para avaliar a uniformidade de arrefecimento dos produtos hortofrutícolas, os resultados demonstraram que para a pera não houve diferenças significativas entre amostras na capacidade do sistema em retirar calor aos hortofrutícolas, já no caso da batata a amostra com maior massa demonstrou alguma resistência ao arrefecimento e no morango as diferenças observadas podem ser explicadas pela sobreposição de produto e o aumento da taxa de respiração com a consequente maior libertação de calor. Nos três casos existe algumas diferenças para os resultados teóricos esperados no meio tempo de arrefecimento esperado, sendo o arrefecimento efetivamente mais rápido.

Palavras-chave: Refrigeração, hortofrutícolas, construção de equipamento, avaliação de uniformidade de arrefecimento em hortofrutícolas.

ABSTRACT

The cooling and temperature control are essential for the conservation of fruits and vegetables. This work is designed to contribute to improving the quality of these products in the supply chain and also for studies with academic purposes. For it has been designed and built a device at an experimental level, capable of performing the cooling of fruits and vegetables.

An experimental device for cooling horticultural products. Was developed in the Institute of Agronomy with a total area of 7,12 m² (useful area of 5 m²), in stainless steel, an insulating polyurethane and an outer coating of aluminium. A cold system was installed, with a circulation system of a glycol water solution capable of removing heat from the fruit products, cooling them. In order to test this equipment we used 12 glass jars to put sample.

The equipment showed to be sealed, and have a good cooling capacity of the glycol water solution that circulating in the useful area, removes heat to the same, not creating any temperature gradient within, mainly the proper operation of the circulating pump.

In the test to evaluate the uniformity of cooling of fruits and vegetables, the results showed that for pear no significant differences between samples in the system's ability to remove heat from the fruits and vegetables, unlike with the potato sample where greater mass showed some resistance to the cooling. In the strawberry sample the differences observed may be explained by product overlaps and increased respiration rate with consequent higher heat release. In all three cases there are some differences regarding our results and the expected theoretical predicted results namely in the middle of cooling time, once the tested system seems to cool faster being more effective.

Keywords: cooling, fruits and vegetables, built equipment, evaluate the uniformity of cooling of fruits and vegetables.

ÍNDICE	
AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE QUADROS	VII
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivo e plano da dissertação.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Os produtos hortofrutícolas.....	4
2.1.1 Importância dos produtos hortofrutícolas	4
2.1.2 Parâmetros de avaliação da qualidade nos hortofrutícolas	4
2.1.3 Segurança alimentar e legislação aplicável	5
2.2 Fatores influentes na conservação pós-colheita	6
2.2.1 Fatores internos do produto.....	6
2.2.2 Fatores ambientais	10
2.3 A refrigeração e a sua utilização nas operações pós-colheita.....	13
2.3.1 Refrigeração	13
2.3.2 Pré-arrefecimento.....	14
2.3.3 Conservação em câmara frigorífica com atmosfera controlada	15
2.3.4 Distribuição.....	16
2.4 Transferência de calor e sistemas de refrigeração utilizados em hortofrutícolas.....	16
2.4.1 Estimativa da duração da refrigeração	18
3 DIMENSIONAMENTO E CONCEÇÃO DO EQUIPAMENTO	20
3.1 Condições de projeto.....	20
3.2 Caracterização e dimensionamento do equipamento	21
3.2.1 Constituição e dimensionamento dos frascos.....	22
3.2.2 Constituição e dimensionamento da área do equipamento.....	25
3.2.3 Isolamento.....	27
3.2.4 Área e volume exterior do equipamento	29
3.3 Constituição do sistema de frio e circulação da solução	31
3.3.1 Cálculo das cargas térmicas.....	32
3.3.2 Sistema de frio e seus componentes	39

3.3.3	Sistema de circulação da solução.....	51
3.3.4	Central de controlo do equipamento	53
3.3.5	Representação esquemática do equipamento	54
4	METODOLOGIA DOS TESTES AO EQUIPAMENTO	55
4.1	Avaliação do equipamento com metade da capacidade	55
4.1.1	Objetivo:	55
4.1.2	Materiais:.....	55
4.1.3	Procedimento:	55
4.2	Avaliação do equipamento com capacidade total	56
4.3	Estabilidade da temperatura no equipamento.....	56
4.3.1	Objetivo:	56
4.3.2	Materiais:.....	56
4.3.3	Procedimento:	56
4.4	Avaliação da taxa e uniformidade de arrefecimento de produtos hortofrutícolas.....	57
4.4.1	Objetivo:	57
4.4.2	Materiais.....	57
4.4.3	Procedimento:	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Comparação dos resultados do equipamento com metade e capacidade total 59	
5.2	Estabilidade da temperatura no equipamento.....	60
5.3	Avaliação da uniformidade do arrefecimento e capacidade de retirar calor aos produtos hortofrutícolas pelo sistema de refrigeração instalado	61
6	CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	76
8	ANEXOS	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- Valor de vendas das indústrias agroalimentares.....	1
Figura 2- Relação entre a taxa respiratória e a longevidade pós-colheita de produtos.	8
Figura 3- Evolução da temperatura (em °C) ao longo do tempo de arrefecimento (em horas), sendo $t_{1/2}$ o meio tempo de arrefecimento.....	14
Figura 4- Do lado esquerdo uma representação esquemática do frasco adquirido e do lado direito uma imagem real de um exemplar dos frascos utilizados.....	23
Figura 5- Ilustração da vista de cima do equipamento experimental.....	26
Figura 6- Representação da área interna do equipamento a ser dimensionado.....	27
Figura 7- Representação em corte das paredes utilizadas para a constituição do equipamento.	30
Figura 8- Representação da área exterior do equipamento dimensionado.....	30
Figura 9- Peso relativo de cada carga térmica, sobre o total de cargas a retirar ao sistema (em %). .	39
Figura 10- Sistema Termodinâmico da Máquina Frigorífica.....	39
Figura 11- Sistema de compressão de vapor simples.....	40
Figura 12- Figura presente no catálogo da Embraco para auxílio dos clientes.....	44
Figura 13- Representação esquemática da unidade condensadora a ser instalada.....	45
Figura 14- Representação externa do compressor instalado	46
Figura 15- Imagens do condensador instalado na unidade	47
Figura 16- Tubagens em serpentina no interior do equipamento	47
Figura 17- Representação do reservatório.....	49
Figura 18- Esquema do interior do pressostato.	50
Figura 19- Imagens reais do sistema de circulação de água instalado no interior do equipamento. ...	51
Figura 20- Dados referentes à bomba de circulação instalada.....	52
Figura 21- Central de controlo do equipamento dimensionado.	53
Figura 22- Do lado esquerdo a representação possível e final do equipamento a ser dimensionado e do lado direito o equipamento experimental criado.	54
Figura 23- Representação esquemática dos orifícios que constituem o equipamento	58
Figura 24- Comparação da evolução da temperatura com 0,250 e 0,500 m ³ de solução na área útil. 59	
Figura 25- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de pera..	67
Figura 26- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de batata.	69
Figura 27- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de morango.....	70
Figura 28- Carta psicrométrica de comparação entre o ar exterior a pera a -1°C	80
Figura 29- Carta psicrométrica para o morango	80
Figura 30- Ábaco para o gás refrigerante R404a.....	81
Figura 31- Namograma utilizado no cálculo efetuado no ponto 5.2 para encontra o N.	85

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Principais parâmetros de qualidade de produtos hortofrutícolas.....	5
Quadro 2- Efeito da temperatura nas taxas de respiração e de deterioração de um produto insensível a danos pelo frio.	11
Quadro 3- Constituição do ambiente exterior de projeto.	20
Quadro 4- Recomendações para o ambiente de conservação dos frutos que se pretende atingir na refrigeração, temperatura e humidades relativas.....	21
Quadro 5- Determinação da composição dos frutos que serão alvo de estudo em fração mássica....	22
Quadro 6- Massa específica (ρ) dos frutos em estudo, calculado utilizando a equação 6.....	23
Quadro 7- Volume total necessário para 7,5 kg de produto.	23
Quadro 8- Volume necessário por frasco, onde estará 0,750 kg de amostra	24
Quadro 9- Comparação entre o volume requerido pelo produto e o volume útil utilizado no equipamento(m^3).	24
Quadro 10- Cargas térmicas presentes na unidade experimental a ser dimensionada.	31
Quadro 11- cargas térmicas através de teto, pavimento e paredes e carga térmica total do somatório das anteriores.....	34
Quadro 12- Taxa de respiração dos frutos a 10 e 0 °C.	38
Quadro 13- Informações gerais da unidade de refrigeração.	45
Quadro 14- Especificações técnicas do compressor que equipa a unidade de refrigeração.....	46
Quadro 15- Composição/ informação sobre os componentes constituintes do R404a.....	48
Quadro 16- Propriedades do R404a.	48
Quadro 17- Características gerais do pressostato.....	50
Quadro 18- Características do filtro desidratante anti-ácidos instalado na unidade de refrigeração. ...	51
Quadro 19- Resultados obtidos no teste 3, para aferir a estabilidade da temperatura no equipamento.	61
Quadro 20- codificação das amostras que estarão em teste.....	67
Quadro 21- Quadro com temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de pera.....	68
Quadro 22- Quadro onde é enunciado as temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de batata	70
Quadro 23- Quadro onde é enunciado as temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de morango.....	71
Quadro 24- Quadro de relação entre tempo e temperatura para a avaliação do equipamento com metade da capacidade.	82
Quadro 25- Quadro de relação entre tempo e temperatura para a avaliação do equipamento com capacidade total	83
Quadro 26- Comparação da evolução da temperatura com 0,250 e 0,500 m^3 de solução na área útil	84
Quadro 27- Massa das 6 réplicas da amostra P1	86
Quadro 28- Resultados obtidos para a amostra P1	86
Quadro 29- Massa das 6 réplicas da amostra P2	87
Quadro 30- Resultados obtidos para a amostra P2.....	87
Quadro 31- Massa das 6 réplicas da amostra P3	88
Quadro 32- Resultado obtidos para a amostra P3.....	88
Quadro 33- Comparação de resultados entre a amostra P1, P2 e P3	89
Quadro 34- massa das 6 réplicas da amostra B1	90
Quadro 35- Resultados obtidos para a amostra B1	90
Quadro 36- Massa das 6 réplicas da amostra B2	91
Quadro 37- Resultados obtidos para a amostra B2.....	91

Quadro 38- Massa das 6 réplicas da amostra B3	92
Quadro 39- Resultados obtidos para a amostra B3	92
Quadro 40- Comparação de resultados entre a amostra B1, B2 e B3	92
Quadro 41- Massa das 6 réplicas da amostra M1	94
Quadro 42- Resultados obtidos para a amostra M1	94
Quadro 43- Massa das 6 réplicas da amostra M2	95
Quadro 44- Resultados obtidos para a amostra M2	95
Quadro 45- Massa das 6 réplicas da amostra M3	96
Quadro 46- Resultados obtidos para a amostra M3	96
Quadro 47- Resultados da comparação entre a amostra M1, M2 e M3	97

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Enquadramento do tema

O principal objetivo da indústria agroalimentar é fornecer aos consumidores e à sociedade em geral, uma vasta gama produtos alimentares seguros, saudáveis, nutricionalmente ricos, economicamente acessíveis e produzidos de forma sustentável, mantendo, ao mesmo tempo, a sua capacidade competitiva.

As indústrias agroalimentares (IAA) podem ser agrupadas em setores, entre eles, o dos produtos hortofrutícolas. Na figura seguinte é apresentado o valor de vendas das diferentes fileiras que integram o grupo das IAA.



Figura 1- Valor de vendas das indústrias agroalimentares (INE, 2011).

A fileira dos hortofrutícolas, tem um papel interessante no seio das IAA e na economia nacional. Apesar de não se tratar das melhores fileiras em termos de valor de vendas, o seu peso dentro das IAA é elevado e os produtos que ele engloba são muito sensíveis. Dentro desta fileira existe uma grande variedade de produtos dos quais a título de exemplo, podemos referir as hortícolas, frutas, leguminosas para grão, batata, culturas para indústria (tomate e girassol).

Segundo o INE, em 2013, a área total de hortícolas manteve a tendência de aumento registada no ano anterior, fixando-se nos 34,9 mil hectares (+4,5%, face a 2012), que produziram 900,4 mil toneladas (+7,1%, face a 2012). O tomate para consumo em fresco foi a cultura com o maior volume de produção, com 97,3 mil toneladas (+1,9% que em 2012), seguido da couve-repolho (89,2 mil toneladas; +18,4% que em 2012) e da cenoura (77,2 mil toneladas; +2,2% que em 2012).

Já os frutos frescos, mais propriamente nos pomares de macieiras o desenvolvimento vegetativo foi normal. As maçãs apresentaram calibres regulares e um desenvolvimento normal da cor. A produção rondou as 287,3 mil toneladas, o que correspondeu a um aumento de 30,1% face ao ano anterior. Quanto à produção de pera, as boas condições climáticas na floração e vingamento promoveram um grande número de frutos. No entanto, as baixas temperaturas após o vingamento, seguidas de elevada precipitação ao longo do desenvolvimento vegetativo, originaram uma

multiplicação celular irregular, pelo que os frutos apresentaram calibres heterogêneos. A produção de pera foi 202,5 mil toneladas, valor muito superior à da campanha anterior (+74,1%) mas consideravelmente inferior às 230,4 mil toneladas, record de produção alcançado em 2011.

O tempo invernos (chuva e frio) na fase de floração das prunóideas afetou fortemente a produção destas espécies. De uma maneira geral os pomares de pessegueiros registaram uma diminuição considerável de produtividade, rondando a produção as 26,1 mil toneladas, menos 13,6% que a registada na campanha anterior.

A produção de laranja, depois de um ano de 2012 muito marcado por condições climáticas adversas, registou evoluções positivas, tendo a produção aumentado 13,3%, alcançando as 236,8 mil toneladas (INE,2014).

Depois da produção, o consumo de produtos hortofrutícolas tem uma componente já muito estudada, os benefícios que estes trazem para a saúde, sendo mundialmente reconhecidos, havendo mesmo recomendações por parte da Organização Mundial de Saúde (OMS) e outras organizações, no sentido de aumentar o consumo destes produtos para a promoção da saúde, assim como para a prevenção de determinadas doenças, mas sempre consumidos em doses adequadas para cada indivíduo. Entre outros, temos como benefícios mais relevantes a grande riqueza dos referidos produtos em vitaminas, sais minerais, compostos bioativos, fibra alimentar e um valor calórico relativamente baixo, tornando-os componentes fundamentais para uma alimentação equilibrada. Os consumidores, ao mesmo tempo, estão cada vez mais exigentes, dando preferência a produtos hortofrutícolas que apresentem boas qualidades organoléticas e de textura.

Em muito casos, o setor de produtos hortofrutícolas, trabalha com produtos frescos, não processados e metabolicamente ativos. Mesmo nos casos das matérias-primas processadas, estas são geralmente muito perecíveis e começam a deteriorar-se logo após a sua colheita. É necessário ter em conta as especificidades destes produtos, como a baixa capacidade de conservação e a sua sazonalidade. Assim, ao longo dos anos, verificou-se um grande desenvolvimento de métodos especializados na conservação e transformação de produtos hortofrutícolas, com aplicação generalizada de várias técnicas de conservação, entre elas a refrigeração, uma vez que no passado com a inexistência destas técnicas eram criadas dificuldades no armazenamento e transporte até ao consumidor final.

Após a colheita, os produtos hortofrutícolas não conservados são suscetíveis a reações de degradação, uma vez que se tratam de organismos vivos e que continuam a efetuar os seus processos fisiológicos, existindo assim muitas vezes perda de água e deterioração devido ao desenvolvimento microbiano e a reações químicas e enzimáticas intervenientes na degradação, com consequências em termos da qualidade e segurança do alimento.

Os processos de conservação possibilitam a redução das perdas, quantitativas e qualitativas, aumentando a extensão do período de vida útil dos produtos, mas apresentam também algumas desvantagens. Nomeadamente, os processos de conservação podem ter efeitos a nível da perda nutricional e podem resultar também em modificações no sabor, cor e textura dos produtos. No que diz respeito às propriedades organoléticas e de textura, influenciam a aceitação global do alimento

pelo consumidor, sendo a sua estabilidade um objetivo a atingir, bem como a qualidade nutricional e estes parâmetros são essenciais para a atratividade e aceitabilidade do produto.

O estudo experimental da cinética de alteração de variáveis e atributos de qualidade de frutas e hortaliças, como de qualquer outro alimento, é indispensável para o estabelecimento de períodos de vida útil, para a otimização de processos de conservação existentes ou para a concepção e desenvolvimentos de novos processos. As alterações dos hortofrutícolas são influenciadas por diversos fatores, como a respiração, a transpiração e a produção de etileno por parte dos produtos. Aqui, a temperatura tem um efeito grande na constante cinética das alterações fisiológicas, bioquímicas, microbiológicas e na perda de água dos produtos hortofrutícolas.

A determinação experimental do efeito do arrefecimento e da manutenção da temperatura em produtos hortofrutícolas, na cinética das alterações de variáveis de qualidade, requer um *setup* experimental que permita rigor, estabilidade e reprodutibilidade nas condições de temperatura, e flexibilidade de ajustamento e amostragem. Assim a uma escala laboratorial, é possível dimensionar e conceber um equipamento com o intuito futuro de efetuar estudos e posteriormente reproduzir os resultados obtidos a uma escala industrial.

1.2 Objetivo e plano da dissertação

O objetivo deste trabalho é dimensionar, construir e testar um equipamento experimental, capaz de realizar o arrefecimento e manutenção de temperaturas de refrigeração em produtos hortofrutícolas.

A metodologia para este projeto será repartida em etapas distintas:

A primeira etapa é a realização de uma revisão bibliográfica incidindo sobre as características de qualidade dos produtos hortofrutícolas, a cinética das suas alterações e os fatores que a influenciam, tendo subjacente a necessidade de conservação pós-colheita. Será dado um enfoque especial à influência que a temperatura tem na conservação e será explorado esse tema, abordando de um modo um pouco mais pormenorizado as etapas pós-colheita onde a refrigeração tem um papel preponderante e posteriormente será feita uma breve revisão sobre a transferência de calor e sistema de refrigeração utilizados para produtos hortofrutícolas.

A projeção, dimensionamento e posterior construção do equipamento experimental é a etapa seguinte e fulcral desta dissertação. Será projetada e dimensionada, a unidade experimental, tendo em atenção todas as condições e limitações de projeto e diversos fatores, como onde colocar os produtos de forma a ser possível analisá-los, a estrutura que servirá de *core* à unidade e posteriormente qual a melhor forma de efetuar a refrigeração e que equipamentos e materiais seriam instalados.

Depois de projetado, foi realizada a sua construção, com o auxílio da empresa Frincor e foram efetuados testes ao seu funcionamento, funcionalidade e realizada uma otimização do equipamento para posteriores testes que sejam realizados.

A finalizar esta dissertação, encontra-se um capítulo de conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os produtos hortofrutícolas

2.1.1 Importância dos produtos hortofrutícolas

Num mundo em constante mudança no que toca a hábitos alimentares e com uma maior preocupação por parte dos consumidores com a alimentação e saúde foi necessário desenvolver meios para a comercialização de produtos hortofrutícolas frescos de qualidade, sendo esta uma área em constante progresso.

Em Portugal, segundo o INE, no período 2008-2012, a Balança Alimentar Portuguesa revelou um desequilíbrio no padrão alimentar, registando-se um consumo excessivo de carnes, pescados, ovos e de cereais e um défice de consumo de produtos hortofrutícolas.

Ou seja, numa abordagem mais focalizada nos produtos hortofrutícolas, divididos pelos grupos dos “Hortícolas” e dos “Frutos”, tem uma disponibilidade deficitária de 7,9 e 8,0 pontos percentuais, totalizando um défice de 15,9% no consumo de hortofrutícolas, por parte da população portuguesa (INE, 2014).

O esforço das organizações nacionais e internacionais, em promover uma alimentação com mais hortofrutícolas, tem de ser acompanhado pelos produtores, produzindo produtos de qualidade. Para isso, os produtos devem chegar em condições ao consumidor e o principal desafio no manuseamento dos produtos hortofrutícolas frescos passa pela manutenção da qualidade em toda a sua cadeia até chegar ao consumidor, pois trata-se de organismos com atividade fisiológica pós-colheita sujeita a alterações contínuas, sendo algumas desejáveis, mas maioritariamente indesejáveis pois diminuem a qualidade do produto ou implicam mesmo a sua perda (Pinto, 2000).

Numa análise ao desperdício alimentar podemos verificar que 27% dos desperdícios alimentares são produtos hortofrutícolas (Baptista, 2012), sendo este valor proveniente das perdas e do desperdício verificado nas diferentes etapas da cadeia alimentar, desde a produção, passando pela indústria e distribuição, acabando no consumo doméstico. Nesta divisão pelas diversas etapas da cadeia alimentar, destacam-se pela negativa, no contexto de desperdício alimentar a produção e indústria, com cerca de 39% e o consumo doméstico, com 42% (Parlamento Europeu, 2012).

Em Concertação com este fato e com as margens pagas aos produtores cada vez mais reduzidas, estes esperam que a evolução das técnicas pós-colheitas e a sua aplicação, se traduza em menores perdas de produto, logo uma maior rentabilidade de produção.

A qualidade sendo um conceito subjetivo, depende em muito da aceitabilidade por parte do consumidor. Para se obter produtos hortofrutícolas de qualidade é necessário haver boas práticas de produção e transformação e para o consumidor a qualidade advém de uma combinação de diversos elementos.

2.1.2 Parâmetros de avaliação da qualidade nos hortofrutícolas

A decisão de compra por parte dos consumidores passa pela avaliação de determinados parâmetros. Parâmetros estes que decidem a aceitação ou rejeição do produto. No quadro seguinte é enunciada os principais parâmetros da avaliação da qualidade nos produtos hortofrutícolas.

Quadro 1- Principais parâmetros de qualidade de produtos hortofrutícolas (adaptado de *Kader, 2007*).

Parâmetro	Componentes
Aparência visual	Tamanho: dimensões, peso, volume
	Forma e aspeto: irregularidade e uniformidade
	Cor: intensidade e uniformidade
	Brilho: natural ou artificial
	Defeitos: externos e internos
Textura	Firmeza
	Dureza
	Fibroso
	Estaladiço
Sabor	Aromas
	Maus-sabores e maus-odores
	Doçura
	Acidez
	Adstringência
	Amargo
Valor nutricional	Vitaminas
	Minerais
	Hidratos de carbono (incluindo as fibras dietéticas)
	Proteínas
	Lípidos
Segurança	Componentes tóxicos naturais
	Contaminantes: resíduos químicos
	Micotoxinas
	Contaminação microbiana

2.1.3 Segurança alimentar e legislação aplicável

A segurança alimentar é outro parâmetro muito importante, senão o mais importante, porque além de estar relacionado com a qualidade, poderá ter implicações na saúde dos consumidores. É portanto, de uma grande importância considerar os níveis tóxicos naturais de alguns produtos, bem como os níveis de segurança relacionados com resíduos químicos e metais pesados, uma vez que existem perigos alimentares de origem química, microbiológica e física. A gestão da segurança alimentar na fileira hortofrutícola implica uma abordagem sistémica e integrada do processo de produção e de manuseamento. Para isto é necessário um bom conhecimento de boas práticas no campo, de colheita e pós-colheita sendo essenciais para minimizar contaminações associadas a hortofrutícolas (*Kader, 2007*).

Como referido anteriormente a qualidade e a segurança alimentar dos produtos disponibilizados aos consumidores é uma preocupação. Assim a nível europeu foram criadas Leis, Regulamentos e Diretivas (gerais e sectoriais), que controlam muitos aspetos da produção de alimentos e são, frequentemente reforçados pelos governos nacionais através de regulamentos locais. É fundamental que os intervenientes conheçam a legislação alimentar aplicável à conservação e distribuição de produtos alimentares (Baptista, 2007).

2.2 Fatores influentes na conservação pós-colheita

O manuseamento pós-colheita é muito importante para a manutenção de bons parâmetros qualidade dos produtos.

A tecnologia pós-colheita é muito importante nos produtos hortofrutícolas que permanecem vivos depois de colhidos, ocorrendo perdas quantitativas e qualitativas.

Os processos de alterações qualitativas incluem, entre outras, a perda de firmeza e alterações na pigmentação, no aroma e no sabor. Os processos de maturação coincidem normalmente com o terminar de desenvolvimento do produto hortofrutícola sendo a maturação comercial o estado de desenvolvimento em que o produto deve ser colhido (Oetterer, 2006).

Em cada etapa do manuseamento pós-colheita é necessário a aplicação de um conjunto de técnicas de forma a garantir a manutenção da qualidade durante a conservação, visando o aumento da vida útil.

Para isso é importante não esquecer que existem fatores influentes nesta conservação, quer internos, como externos aos produtos. Ao mesmo tempo, é importante perceber que até ao momento do armazenamento é necessário realizar diversas etapas, que passarão por um bom trabalho de campo e a respetiva colheita, um bom acondicionamento pós-colheita, o transporte e pré-arrefecimento e por fim a conservação na unidade de armazenamento e posterior distribuição.

2.2.1 Fatores internos do produto

O sucesso da colheita começa por depender de todo o planeamento feito desde as fases iniciais de produção. A seleção da variedade, as práticas de cultivo e a rega são fatores determinantes na qualidade do produto depois de colhido.

O clima é um fator muito importante na produção. A temperatura e a intensidade da luz durante a cultura têm uma forte influência no aspeto e valor nutricional, determinando a data de colheita, mas que depende por outro lado do mercado (Silva, 2000).

As práticas agrícolas para além de influenciarem o volume de produção influenciam também a dimensão e composição dos produtos e o estado de maturação do fruto na colheita e a sua vida útil pós-colheita. Os produtos atingem a qualidade máxima quando completam a maturação na planta. Contudo, no caso de alguns frutos o amadurecimento dá-se após a colheita (Almeida, 2005).

2.2.1.1 Fatores fisiológicos

As alterações que os produtos hortofrutícolas sofrem após a colheita são diversas e são identificados como principais fatores fisiológicos envolvidos a respiração, a perda de água e a produção de etileno (Pinto, 2000).

2.2.1.1.1 Respiração

Os produtos hortofrutícolas utilizam substâncias de reserva no processo de respiração, sendo a intensidade respiratória influenciada, em muito, por diversos fatores.

É durante a respiração que é consumido oxigénio, produzido dióxido de carbono e vapor de água, pois esta reação é essencial ao fornecimento da energia necessária para a manutenção pós-colheita dos produtos hortofrutícolas e ao fornecimento de esqueletos de carbono para a totalidade do metabolismo celular, desempenhando por isso um papel central no metabolismo destes (Almeida, 2005).

A respiração é então o processo contínuo pelo qual os glúcidos e outros substratos, tais como ácidos orgânicos, gorduras e proteínas são metabolizados, funcionando como substratos.

Depois de realizada a colheita dos produtos, os substratos não podem ser reabastecidos e segue-se o seu envelhecimento, que se designa por senescência, onde ocorre a morte dos tecidos. Associado a este fenómeno resulta a perda do aspeto apelativo, do valor nutricional, de massa ou aparecimentos de sabores não característicos, resultando numa redução na qualidade do produto (Almeida, 2005; Chitarra, 1990).

A respiração dos hortofrutícolas é o mais importante processo fisiológico, sendo medida através da taxa de produção de dióxido de carbono ou da taxa de consumo de oxigénio. A taxa de respiração está relacionada com a perecibilidade dos produtos e a taxa de perecibilidade é proporcional à taxa de respiração, ou seja quando maior é a respiração, maior é a perecibilidade pós-colheita. Para diminuir a taxa de respiração é necessário conceber sistemas de manuseamento eficazes com controlo de temperatura e composição da atmosfera, já que existe libertação de calor por parte do produto para o meio. Este calor libertado, se não for removido por refrigeração ou ventilação, resultará em temperaturas mais elevadas em torno de todo o produto e consequentes maior perda de água e maior taxa de respiração (Kader, 2007).

A alta taxa de respiração durante os estádios iniciais de crescimento está presumivelmente relacionada às necessidades energéticas e de esqueletos de carbono para as células que estão em processos de divisão e de alongamento. Quando a planta ou órgão aproxima-se da maturidade, o crescimento e as reações metabólicas a ele associadas também decrescem (Hopkins, 2000).

De um modo geral, fatores internos e externos influenciam a taxa de respiração e uma relação feita ao comportamento pós-colheita dos produtos hortofrutícolas frescos é que a taxa respiratória e a longevidade pós-colheita estão inversamente relacionadas, na generalidade dos casos.

A taxa de respiração varia com a espécie e até com cultivares da mesma espécie e verifica-se que o metabolismo dos produtos hortofrutícolas está relacionado com o seu papel biológico. Como

pode ser observado na figura 2, órgãos de reserva como a batata e a cebola, possuem taxas respiratórias baixas, já por outro lado folhas e inflorescências apresentam taxas respiratórias superiores (Almeida, 2005).

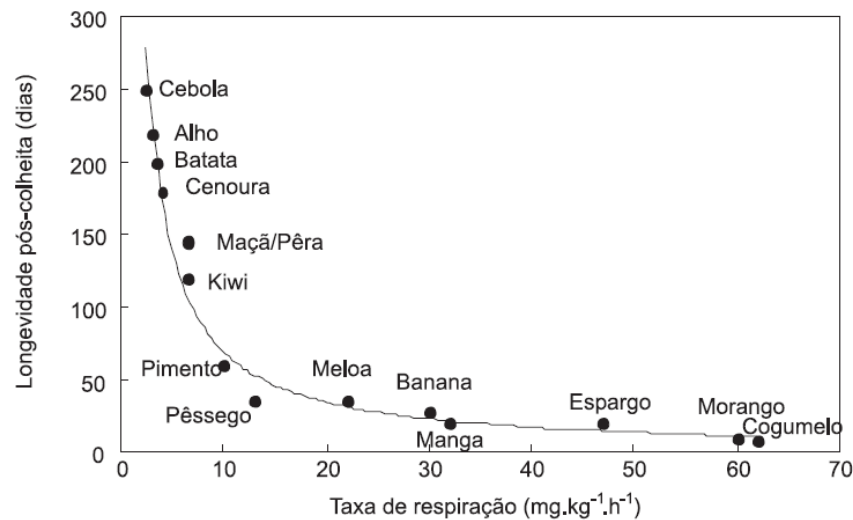


Figura 2- Relação entre a taxa respiratória e a longevidade pós-colheita de produtos (Almeida D., 2005).

No que respeita ao padrão respiratório, os produtos hortofrutícolas podem ser classificados em climatéricos e não-climatéricos. Os não-climatéricos são aqueles que demoram mais para completar o processo de amadurecimento, verificando-se depois um decréscimo do gasto energético durante todo o processo de envelhecimento e consequente diminuição da taxa de respiração, estes não têm capacidade de amadurecer após a colheita, ou seja existem características organoléticas que se não forem desenvolvidas, não terão oportunidade de o ser no futuro, o objetivo das técnicas pós-colheita neste caso é minimizar a perda de qualidade (Giovannoni, 2001).

Por outro lado, existem produtos hortofrutícolas colhidos num estado ainda imaturo para a comercialização, encontrando-se em crescimento ativo e possuindo taxas de respiração muito elevadas, estes representam o comportamento climatérico. É então uma exceção à regra geral da diminuição da taxa respiratória durante a maturação, porque estes órgãos passam por um aumento transitório na respiração, e onde o aumento do consumo de O₂ é acompanhado pela queda na fosforilação oxidativa, indicando que a produção de ATP não está sendo acoplada ao transporte de elétrons. O início da senescência e as mudanças degenerativas que antecedem a morte, coincidem com o amadurecimento e as técnicas pós-colheita permitem para além de minimizar a perda de qualidade, a otimização do tempo de amadurecimento (Almeida, 2005; Hopkins, 2000).

2.2.1.2 Etileno

O etileno (C₂H₄) é uma hormona vegetal, que é ativada fisiologicamente em concentrações muito baixas (inferiores a 0,1 ppm) e é produzida naturalmente em muitos órgãos vegetais e muitos processos vegetais são influenciados por esta.

O etileno inibe o alongamento celular, promove a germinação de sementes e está relacionado à resposta do vegetal a ferimentos ou invasão por organismos patogénicos, tem ainda implicações

vincadas quer no desenvolvimento, quer no período de armazenamento, regulando muitos aspetos do crescimento e desenvolvimento dos organismos vegetais (Wills, 1998).

Em condições normais, a produção de etileno vai diminuindo com a diminuição da taxa de respiração. Nos frutos e inflorescências climatéricas a taxa de produção de etileno aumenta em simultâneo com o aumento da taxa de respiração (Hopkins, 2000).

Como anteriormente referido, durante o desenvolvimento dos vegetais, ocorre um grande número de mudanças fisiológicas, como mudanças de cor (pela degradação da clorofila e síntese de outros pigmentos), a conversão de amido e ácidos orgânicos em açúcar e posteriormente em energia, entre outras. O etileno tem o efeito de estimular estas mudanças fisiológicas promovendo um efeito em cadeia. Uma vez que o fruto em desenvolvimento produz etileno, este inicia uma aceleração do processo de amadurecimento, o que, por sua vez, induz o fruto a produzir mais etileno, acelerando ainda mais o processo. O etileno tem implicações positivas, bem marcadas na qualidade dos produtos hortofrutícolas frescos, estimulando o amadurecimento dos frutos, o que pode ajudar a uniformizar lotes, promovendo o desenvolvimento da cor nos frutos e favorece também a abscisão dos frutos e promove a floração em bromeliáceas). Por outro lado, a presença de etileno, ao acelerar o amadurecimento e a senescência, pode traduzir-se em reações que aumentam a suscetibilidade dos frutos a fungos e provoca e agrava o desenvolvimento de acidentes fisiológicos (Kays, 1991).

2.2.1.3 Perda de água

Os produtos hortofrutícolas são constituídos principalmente por água, variando entre 80 a 95% na sua percentagem no produto. A água ao ser o composto mais abundante faz com que os produtos hortofrutícolas sejam mais perecíveis, em comparação a outros produtos agrícolas, como por exemplo, os cereais.

A perda de água ocorre pelo mecanismo de transpiração, estando relacionado com a evaporação da água dos tecidos para o meio ambiente, a partir dos espaços intercelulares do parênquima cortical, assim como através de poros existentes na superfície dos vegetais, como os estomas ou mesmo por ruturas na superfície causadas por danos mecânicos durante a pós-colheita (Guadarrama, 2001).

No tempo em que os produtos hortofrutícolas estão ligados à planta, há reposição de água, no entanto a partir do momento em que os produtos hortofrutícolas são separados, a respiração continua a ocorrer e a água necessária ao seu desenvolvimento deixa de ser repostada.

Esta perda de água do produto fresco tem um enorme impacto quantitativo e qualitativo nos produtos hortofrutícolas e a manutenção da integridade dos produtos depende, em grande parte, da turgência das células formadoras dos tecidos. Assim a perda de água leva a uma antecipação da maturação e da senescência, bem como o comprometimento da qualidade do produto devido à perda de peso. A perda de água (ou transpiração) é influenciada por características do produto tais como a morfológicas, a relação superfície/volume, danos na epiderme e estado de maturação, sendo também influenciada por fatores externos, tais como a temperatura, a humidade relativa e a circulação de ar (Pinto, 2000). A transpiração excessiva causa efeitos indesejáveis na aparência dos produtos, que se

tornam enrugados e opacos, e na textura, que se apresenta mole, flácida e murcha, afetando a aceitabilidade por parte do consumidor.

2.2.2 Fatores ambientais

2.2.2.1 Temperatura

A temperatura é provavelmente o fator ambiental mais importante na conservação de produtos hortofrutícolas perecíveis. O recurso à diminuição da temperatura e sua manutenção, pode controlar diversos outros fatores, como a respiração, a transpiração, a produção de etileno, bem como a deterioração microbiana, mas ao mesmo tempo pode causar distúrbios fisiológicos nos frutos (Almeida, 2005).

No que diz respeito há perda de água, a temperatura por norma tem o efeito de quanto mais elevada for em torno do produto, maior é a taxa de perda de água. Na taxa de respiração, quando a temperatura do ar se encontra entre 20 e 30 °C, a taxa de respiração das plantas duplica e em algumas até triplica. Ocorre uma respiração mais rápida e uma rápida remoção de energia a partir das moléculas de açúcar e uma consequente diminuição do peso (Kader, 2007).

A relação respiração/ temperatura é definida pela lei de Van't Hoff, que considera um aumento de duas a três vezes na velocidade da atividade respiratória e consequente aumento da velocidade de maturação e envelhecimento, para cada aumento de 10 °C na temperatura (Kluge, 2002).

A variação da velocidade de uma alteração fisiológica, por cada 10 °C de variação de temperatura é designada por Q_{10} . Assim um Q_{10} igual a 2 significa que a velocidade da alteração duplica por cada 10 °C de aumento na temperatura. O Q_{10} para a respiração pode ser calculado através da equação 1 (Almeida, 2005).

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad (1)$$

Em que:

- $R_1 \rightarrow$ Taxa de respiração à temperatura T_1
- $R_2 \rightarrow$ Taxa de respiração à temperatura T_2
- $T_1 \rightarrow$ Temperatura no tempo 1
- $T_2 \rightarrow$ Temperatura no tempo 2

O Q_{10} é utilizado para se perceber que efeito tem a temperatura na taxa respiração, porque é possível estabelecer uma relação entre ambas as variáveis. Assim sendo, conhecendo uma das variáveis é possível determinar a outra, com recurso à equação anterior.

No quadro 2 estão representados alguns resultados obtidos sobre esta temática (Kader, 2002).

Quadro 2- Efeito da temperatura nas taxas de respiração e de deterioração de um produto insensível a danos pelo frio (Kader, 2002).

Temperatura (°C)	Q ₁₀ assumido	Taxa de respiração relativa	Longevidade relativa	Perdas (%)
0		1	100	1
10	3,0	3,0	33	3
20	2,5	7,5	13	8
30	2,0	15,0	7	14
40	1,5	22,5	4	25

Em temperaturas entre 5 e 30 °C, a respiração aumenta exponencialmente com a temperatura e o valor do Q₁₀ fica em torno de 2,0. Nesta gama de temperaturas, a taxa de respiração duplica para cada aumento de 10 °C. Em temperaturas acima de 30 °C, o valor de Q₁₀ na maioria dos hortofrutícolas começa a cair. Quando a temperatura se aproxima dos 50 a 60 °C, a desnaturação térmica das enzimas respiratórias e danos sobre as membranas, praticamente paralisam a respiração e levam o hortofrutícola à morte térmica (Kader, 2002)

A temperatura também tem influência na produção de etileno por parte dos hortofrutícolas e o etileno é um gás que nas condições normais de pressão e temperatura tem implicações não só no próprio vegetal mas também nos que o rodeia. A temperatura normalmente tem uma influência positiva na libertação de etileno, ou seja o seu aumento promove uma maior libertação de etileno, o que pode ser benéfico ou não dependendo do objetivo pretendido (Kader, 2007).

A temperatura é então um fator importante, uma vez que no armazenamento pós-colheita em refrigeração, são aplicadas temperaturas baixas para a conservação dos produtos, o que causa uma diminuição da respiração e produção de etileno, retardando assim uma maturação precoce por parte dos produtos. Em relação à perda de água, a temperatura tem uma influência reduzida, quando se trabalha a temperaturas de refrigeração adequadas, sendo a humidade relativa o fator mais determinante.

2.2.2.2 Humidade relativa

A humidade relativa é um dos fatores mais importante para uma boa conservação pós-colheita. Esta refere-se à razão entre a pressão de vapor de água do ar e a pressão de vapor de saturação na mesma temperatura. Normalmente é expressa em percentagem, variando de 0%, no ar seco, a 100%, em ar completamente saturado com vapor de água (Guadarrama, 2001).

Num ambiente com uma humidade relativa baixa, o potencial hídrico é muito baixo em comparação com o potencial hídrico dos tecidos dos hortofrutícolas e assim o movimento da água, é dentro para fora do produto, ocorrendo desidratação (Guadarrama, 2001).

A influência da humidade relativa, tem muito peso, na perda de água por parte dos produtos, uma vez que a humidade relativa dos produtos hortofrutícolas normalmente se situa entre os 80 e 95%, e onde um défice de pressão de vapor pode estar relacionado com a humidade relativa do ar.

Um acréscimo na humidade relativa tem implicações, onde a diferença entre a pressão de vapor de água no interior do produto e o ambiente é reduzida, reduzindo também a taxa de

transpiração e consequente perda de água, existindo portanto um equilíbrio dinâmico em termos de movimentação de água no hortofrutícola (Ordóñez, 1998).

Assim e tendo em consideração que este parâmetro é importante para a manutenção do peso, a boa aparência e qualidade do produto, para maior controlo da perda de água em produtos hortofrutícolas, aconselha-se manter os produtos em locais com alta humidade relativa do ar e com pequenas variações de temperatura. Por outro lado, se durante o armazenamento, a humidade relativa for muito elevada, a condensação de água nas superfícies frias dos produtos pode favorecer o crescimento de microrganismos e o aparecimento de fissuras em alguns produtos. A humidade relativa ótima de armazenamento, não deve oscilar mais do que 3 a 5% da dos produtos a armazenar (Ordóñez, 1998).

2.2.2.3 Velocidade do ar

A Velocidade do ar é outro dos fatores com influência na qualidade pós-colheita, uma vez que este tem implicações na perda de água. O movimento do ar em torno dos produtos reduz a espessura e consequentemente a resistência da camada limite, favorecendo a perda de água. Numa câmara de refrigeração, o movimento do ar também influencia o défice de pressão de vapor, devido à maior remoção de vapor de água ao nível do evaporador (Kader, 2007).

2.2.2.4 Composição da atmosfera

A composição da atmosfera na conservação pós-colheita é muito importante, sendo um suplemento adequado ao controlo de temperatura e humidade relativa, proporcionando benefícios que se traduzem numa redução quantitativa e qualitativa de perdas durante o manuseamento pós-colheita e o armazenamento de produtos hortofrutícolas (Almeida, 2005).

O objetivo da modificação da atmosfera no armazenamento pós-colheita, é inibir os mecanismos que deterioram os alimentos frescos, reduzindo também a suscetibilidade a patogénicos e aumentar assim a sua vida útil (Kader, 1994).

O oxigénio como aceitador final de eletrões da cadeia de atividade respiratória, é relevante o seu controlo e assim a disponibilidade de O_2 , é obviamente, um fator determinante da taxa respiratória. Uma concentração mínima de O_2 é sempre necessária para promover a respiração durante o armazenamento. Abaixo desse nível, ocorre respiração anaeróbica, com acessória produção de produtos secundários, os quais destroem células, quando não removidos. O aumento controlado da concentração de CO_2 , tem influência na taxa respiratória, que diminui com o aumento desta. É uma das técnicas muito utilizadas em conjugação com a diminuição da concentração de O_2 , no controlo da taxa de respiração e consequente diminuição da atividade metabólica e velocidade de maturação (Kader, 1994).

2.2.2.5 Luz

A luz é outro dos fatores ambientais que afeta a qualidade pós-colheita. Alguns autores consideram que a respiração mitocondrial decresce na luz, porém não se conhece ao certo a intensidade deste efeito. Já na perda de água a luz tem um efeito reduzido. O seu efeito pode ser

sentido através da promoção da abertura dos estomas ou através do aumento da temperatura. A perda de água tende a aumentar com o aumento da intensidade luminosa e com o aumento da duração de exposição à luz (Kader, 2007).

2.2.2.6 Pressão

A pressão têm influência na taxa de evaporação, uma vez que lhe é inversamente proporcional. Ou seja quando maior a pressão, menor a taxa de evaporação.

A taxa de perda de água aumenta 10% por cada redução de 10% na pressão. Os produtos arrefecidos num sistema de arrefecimento por vácuo estão muito sujeitos a perda de água (Almeida, 2005).

2.3 A refrigeração e a sua utilização nas operações pós-colheita

2.3.1 Refrigeração

A refrigeração, não é mais que um processo de remoção de calor de um espaço fechado, com o objetivo da diminuição da temperatura deste espaço e posterior manutenção, abaixo da temperatura da atmosfera envolvente (Pruthi, 1999).

A refrigeração integra o grupo de processos de redução da temperatura para uma melhor conservação, onde esta integrado por exemplo a congelação e a ultracongelação. A principal diferença para a congelação e ultracongelação, é a temperatura a que é conduzida cada uma destas operações. A refrigeração é um processo que armazena os produtos a temperaturas superiores ao correspondente ponto de congelação da água nos alimentos. As temperaturas utilizadas são variáveis consoante o produto em questão, mas situam-se normalmente entre -1 e 10 °C (Lidon, 2008).

A refrigeração, tem o papel de condicionar o aparecimento e a extensão dos danos que os alimentos sofrem durante o armazenamento. As baixas temperaturas, aplicam um efeito seletivo prevenindo o crescimento dos mesófilos e conduzem a uma microflora dominada pelos psicrotróficos (Adams, 2000).

A armazenagem em refrigeração pode garantir a conservação de produtos hortofrutícolas por períodos que vão de alguns dias até vários meses. Ou seja, em virtude deste facto observa-se a diminuição da taxa de crescimento dos microrganismos, o que faz com que o tempo de armazenamento do produto seja maior do que se esperaria, se este tivesse sido armazenado à temperatura ambiente (Garbutt, 1997).

A refrigeração é assim uma importante barreira contra a deterioração e o crescimento microbiano (Codex Alimentarius, 1999), onde a diminuição da temperatura para temperaturas de refrigeração, trata-se de um fator preponderante na conservação pós-colheita de um hortofrutícola, desde da escolha da melhor hora para a colheita, à temperatura de pré-arrefecimento feita logo de seguida em praticamente todos os produtos e por fim a temperatura a que é armazenada e distribuída.

2.3.2 Pré-arrefecimento

Para garantir a qualidade pós-colheita, deve ocorrer uma diminuição rápida da temperatura após a colheita até à temperatura mínima de segurança, evitando dessa forma problemas nos produtos.

A aplicação imediata e rápida de frio permite diminuir a perda de nutrientes, durante esse período, ou seja a refrigeração permite desacelerar processos de maturação, bem como preservar a qualidade dos produtos. A aplicação de frio nos produtos hortofrutícolas também permite limitar o desenvolvimento de microrganismos presentes, as mudanças de coloração e de aspeto a que os hortofrutícolas estão sujeitos à temperatura ambiente, atrasar as degradações do produto introduzidas pelas reações bioquímicas ou biológicas e limitar as perdas de água devido ao fenómeno de transpiração (López, 2000).

É recomendável efetuar um pré-arrefecimento dos produtos antes destes serem armazenados em câmaras refrigeradas. Uma vez que as condições das câmaras são definidas para a manutenção de uma determinada temperatura e não para o arrefecimento do produto desde a sua temperatura ambiente (Fonseca, 2000).

A rapidez com que o produto é arrefecido está claramente relacionada com a redução do processo de respiração, perda de água e indiretamente com o desenvolvimento de microrganismos.

Os dois fatores mais importantes para um arrefecimento efetivo, são a temperatura e o tempo, ou seja, o fruto deve ser arrefecido no mais curto espaço de tempo possível.

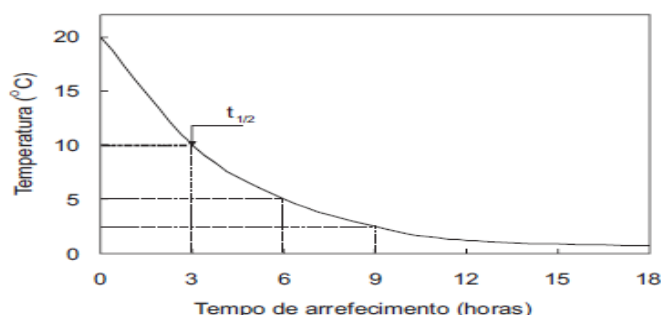


Figura 3- Evolução da temperatura (em °C) ao longo do tempo de arrefecimento (em horas), sendo $t_{1/2}$ o meio tempo de arrefecimento (Almeida, 2005).

Pela observação da figura 3 é possível verificar a evolução da temperatura ao longo do tempo de arrefecimento. À medida que o tempo de arrefecimento aumenta a temperatura diminui até atingir a temperatura de refrigeração pretendida. No entanto verifica-se que é durante as primeiras horas que existe uma quebra mais significativa da temperatura, e que após algumas horas é necessário demasiado tempo para pequenos decréscimos da mesma, ou seja, o produto ao ser arrefecido, inicialmente sofre uma diminuição rápida de temperatura, e em seguida o processo de arrefecimento torna-se mais lento.

O meio tempo de arrefecimento ($t_{1/2}$) é o tempo necessário para reduzir a diferença de temperatura entre o produto e o meio refrigerante para metade. O meio-tempo de arrefecimento não depende do diferencial de temperatura e por isso, em teoria, permanece constante ao longo do período de arrefecimento (Almeida, 2005).

A quantidade de calor que é necessário remover para arrefecer produtos é determinada pela equação 2:

$$Q = mc_p(T_i - T_m) \quad (2)$$

Onde:

- $Q \rightarrow$ Calor a remover (kJ)
- $m \rightarrow$ Massa (kg)
- $C_p \rightarrow$ Calor específico ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)
- $T_i \rightarrow$ Temperatura inicial (°C)
- $T_m \rightarrow$ Temperatura média da massa (°C) no momento considerado

Assim o pré-arrefecimento recomendado é $7/8 \text{ °C}$ de diferença entre a temperatura inicial e a temperatura refrigeração, onde o objetivo é o produto entrar na câmara de conservação sendo só necessário remover $1/8$ do calor (Almeida, 2005).

Há vários métodos de se obter um pré-arrefecimento dos produtos hortofrutícolas e a determinação do melhor método de pré-arrefecimento a aplicar aos produtos hortofrutícolas, tem em conta determinados fatores, como as características do produto, a compatibilidade com mistura de produtos, a disponibilidade de instalações e equipamentos, custos e a proximidade do mercado. (Thompson, 2002).

2.3.3 Conservação em câmara frigorífica com atmosfera controlada

Um sistema de armazenamento eficaz e dinâmico, tem que cumprir determinados objetivos, como efetuar a redução da atividade metabólica do produto, através do controlo da temperatura e eventualmente da composição da atmosfera. Este deve reduzir o crescimento e disseminação de microrganismos, através do controlo da temperatura e a prevenção da acumulação de água na superfície dos produtos, mas ao mesmo tempo reduzir perdas de água, ou seja os produtos devem manter uma humidade relativa perto da sua, como já explicado anteriormente. O controlo efetuado tem como consequência, a desaceleração do metabolismo celular e o retardar do processo de amadurecimento e de senescência dos produtos (Hardenburg, 1986).

O período de armazenamento depende do produto, das condições de armazenamento, do circuito de comercialização e das oportunidades de mercado. Com isto, não se deve esquecer, que a refrigeração não evita a totalidade de todos os fenómenos de degradação, já que a redução da temperatura não é muito grande, ou seja prolonga a vida útil, mas por um determinado período de tempo e não destrói os microrganismos presentes nos produtos. Ou seja, a somar ao efeito que a temperatura, por si só, já proporciona aos hortofrutícolas de algum retardamento da degradação, pode somar-se algumas técnicas e métodos de conservação, como a modificação e controlo da atmosfera, a remoção do etileno e a manutenção de uma boa humidade relativa e por isso a sua monitorização deve ser realizada (Kader, 2003).

Não existe uma temperatura ideal para o armazenamento de todos os produtos hortofrutícolas, dado que as respostas à temperatura variam amplamente. Processos físicos importantes, tais como a transpiração e reações fisiológicas, como os danos por frio devem ser tidos em conta, juntamente com a duração requerida de armazenamento.

Em hortofrutícolas não suscetíveis a danos por frio, a vida máxima de armazenamento pode ser obtida em temperaturas baixas, mas acima do ponto de congelamento dos tecidos do produto. Para produtos sensíveis à refrigeração, há também potenciais vantagens imediatas da aplicação da baixa temperatura durante o armazenamento.

Os danos causados pelo frio (*chilling injury*) ocorre nos produtos, uma vez que muitos deles são sensíveis a danos, se armazenados em locais com temperaturas acima de 0 °C, porém abaixo da temperatura mínima de segurança para o seu metabolismo. Os danos causados pela refrigeração diferenciam-se dos causados pela congelação, uma vez que nesta última há formação de gelo que compromete a sua estrutura. No caso da refrigeração, o dano primário, ao nível da ultra-estrutura é semelhante entre os tecidos vegetais e inclui a redução da corrente citoplasmática, desorganização e mudança na estrutura e funcionalidade das mitocôndrias, dos cloroplastos e do núcleo celular (Kratsch, 2000). Os danos só se manifestam quando o produto retorna a uma temperatura mais alta ou após determinado tempo de conservação e os sintomas característicos são alterações sensoriais irreversíveis, como a perda de água, o escurecimento, pequenas depressões na casca, maturação anormal com o aumento dos níveis de CO₂ produzido e aumento da incidência de microrganismos.

A temperatura mínima de segurança é a temperatura inferior à preestabelecida, a qual pode resultar em danos irreversíveis causados pelo frio e esta não deve ser alcançada. O armazenamento prolongado em temperaturas próximas ao ponto crítico pode fazer com que os vegetais tenham dificuldade em completar o amadurecimento após a refrigeração. De uma forma geral os produtos tropicais são mais suscetíveis aos danos pelo frio, do que os produtos de regiões temperadas. De acordo com a sensibilidade ao frio, os produtos podem ser agrupados em diferentes faixas de temperatura (Oetterer, 2006):

- -1 a 4 °C: produtos com menor sensibilidade ao frio, como os de regiões temperadas.
- De 4 A 8 °C: frutos e hortaliças com sensibilidade moderada ao frio.
- Acima de 8 °C: hortofrutícolas muito sensíveis ao frio, como os produtos de regiões tropicais.

2.3.4 Distribuição

Depois de armazenados os produtos, ainda serão expedidos para a distribuição, aqui é de vital importância a manutenção da cadeia de frio até ao consumidor, sem haver quebras da mesma. No transporte pode existir um sobreaquecimento, é por isso importante assegurar a manutenção da temperatura durante o transporte desde a origem até ao seu local de destino. Já no distribuidor um dos fatores decisivos para a manutenção da qualidade dos produtos hortofrutícolas no manuseamento pós-colheita é as instalações de distribuição, receberem unicamente o produto que será transportado no dia seguinte para uma loja. Com isto os produtos devem ser recebidos na temperatura apropriada de armazenamento, devem ser separados de acordo com a temperatura ótima de armazenamento (Kader, 2007).

2.4 Transferência de calor e sistemas de refrigeração utilizados em hortofrutícolas

Os sistemas de refrigeração funcionam com o objetivo de se obter uma transferência de calor capaz de retirar calor aos hortofrutícolas, conservando-os. A transferência de calor é a permutação de

energia térmica devida a uma diferença de temperaturas. Na transferência de calor, este deriva sempre do local que possui temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa, de modo a se igualarem. Para completar a definição anterior é necessário referir a necessidade de existir um meio onde ocorra a diferença de temperatura.

Existem portanto estas três formas de transferência de calor, mas para o estudo a realizar apenas 2 são pertinentes de serem avaliadas, a convecção e condução, uma vez que a transferência de calor por radiação será praticamente inexistente, uma vez que o peso relativo do calor transferido por radiação pode ser desprezado para as gamas de temperaturas envolvidas (Holman, 1999).

A convecção é um modo de transmissão de calor que ocorre principalmente nos fluidos (líquidos e gases). É consequência da circulação do fluido, onde existe troca de átomos e moléculas decorrentes de variação de densidade gerada naturalmente, resultante de um diferencial de temperatura em partes do fluido ou forçada, por meio de um auxiliar (Holman, 1999).

A condução é a transferência de calor em materiais sólidos. Ocorre entre dois materiais a diferentes temperaturas, ou simplesmente num material apenas de molécula em molécula, sempre do ponto mais quente para o mais frio. Estando assim relacionada à condutividade térmica de cada material (Holman, 1999). No trabalho a desenvolver será aplicado o poliuretano que é caracterizado por ter uma baixa condutividade térmica, fundamental para um sistema de refrigeração eficiente.

Para se obter o arrefecimento dos produtos hortofrutícolas, existem vários métodos. Um deles é o arrefecimento a ar, que é feito em câmaras ou túneis de refrigeração, no qual a velocidade de arrefecimento é determinada pela capacidade de refrigeração do sistema, pela velocidade de circulação do ar e pelas características de transferência de calor dos produtos e das suas embalagens. Uma das desvantagens deste processo é a secagem da superfície dos produtos, caso não estejam devidamente acondicionados e para minimizar esse efeito pode ser realizada uma humedificação do ar utilizado no arrefecimento (Thompson, 2002).

O arrefecimento em câmara é o método mais simples e mais lento, este processo baseia-se basicamente na colocação dos produtos numa câmara convencional onde são arrefecidos pelo contato com o ar, e uma vez que a velocidade do ar é reduzida e o ar não é forçado, o arrefecimento pode levar dias a atingir 7/8 entre a temperatura inicial do produto e a temperatura de refrigeração.

Outro é o arrefecimento por água e uma vez que a água possui maior capacidade de refrigeração em comparação com o ar devido ao seu elevado coeficiente de transferência de calor entre a superfície do produto e o filme água e assim um determinado volume de água pode remover mais calor do que o mesmo volume de ar à mesma temperatura. O arrefecimento com água pode ser feito por aspersão de água no produto ou por imersão em tanques. O arrefecimento por água também tem a vantagem de não causar a perda de água no produto. Este sistema é mais eficaz mas também poderá ter associado contaminações microbianas e assim é necessário uma prevenção deste risco com a utilização de água desinfetada com cloro e filtrada antes de retornar ao permutador de calor para ser arrefecida (Thompson, 2002).

O arrefecimento por gelo é outro método utilizado, e uma vez que o gelo tem a propriedade de absorver calor e ajudar a manter a humidade em produtos frescos, permitindo remover o calor sensível, conferindo aos produtos nas embalagens um aspeto fresco e contribui para manter uma

humidade relativa elevada e reduzir as perdas de água. No entanto, possui como principais desvantagens o seu peso, redução no espaço útil, os gastos referentes à sua reposição. O arrefecimento neste caso, pode ser realizado com gelo moído, ou parcialmente fundido, lançado sobre as cargas do produto, pratica conhecida como *top-icing* ou então por outra técnica chamada *package icing* onde se utiliza gelo liquefeito que é infiltrado dentro das embalagens numa suspensão em água, ficando o gelo em contacto com o produto após o escoamento da água (Almeida, 2005).

Para o ocorrer o arrefecimento é necessário um sistema de refrigeração, ou seja, uma combinação de componentes e equipamentos conectados de forma sequencial de modo a produzir o efeito refrigerante. De seguida serão citados os principais sistemas de refrigeração (Corrêa, 2000):

- Compressão mecânica de vapor
 - Princípio de funcionamento: Um fluido volátil (fluido frigorigénio) recebe calor e evapora a baixa pressão e temperatura.
 - Aplicações típicas: Aparelhos de ar condicionado, frigoríficos domésticos e sistemas de refrigeração comercial e industrial de médio e grande porte.
- Absorção de vapor
 - Princípio de funcionamento: O vapor de um fluido volátil é absorvido por outro fluido a baixa pressão e temperatura e posteriormente é destilado da solução a alta pressão.
 - Aplicações típicas: Pequenos frigoríficos domésticos e sistemas de refrigeração e ar condicionado de médio e grande porte.
- Efeito termoelétrico
 - Princípio de funcionamento: Uma corrente elétrica atravessa a junção de dois materiais diferentes produzindo o arrefecimento.
 - Aplicações típicas: Instrumentos de medida do ponto de orvalho do ar e equipamentos eletrónicos.

2.4.1 Estimativa da duração da refrigeração

Numa instalação de refrigeração, deve existir uma previsão e planeamento de como os diversos equipamentos instalados e produtos influenciam a rentabilidade do sistema, sendo que o objetivo é ser maximizada essa rentabilidade. Para efetuar uma previsão das taxas de remoção de calor é necessário um conhecimento de todo o sistema onde se está a operar e também das propriedades termofísicas dos produtos que serão sujeitos a essa refrigeração.

Para efetuar uma previsão das propriedades termofísicas em função da composição dos hortofrutícolas é necessário obter determinados parâmetros, uma vez que estas são influenciadas pelo meio envolvente (Martins, 2000).

Depois de feita a previsão das propriedades termofísicas, é possível avançar uma estimativa da duração da refrigeração. Como já referido a transferência de calor é um fenómeno complexo e acontece de diversas formas.

Na generalidade dos casos, ao longo do processo de refrigeração, a diferença de temperatura entre o fluido frio e o alimento vai diminuindo, o que leva a uma diminuição cada vez mais lenta da temperatura no hortofrutícola. A transferência de calor neste caso pode considerar-se não

estacionária e o seu cálculo rigoroso seria moroso e complicado, recorrendo-se assim, com erros relativamente pequenos, a equações simplificadas para o cálculo pretendido.

O tempo de refrigeração, de um determinado produto, tem em consideração diversos fatores que condicionam de forma direta uma maior ou menor eficiência por parte do sistema. Há que ter em consideração a transferência de calor através da superfície dos hortofrutícolas e a forma destes, bem como do local onde estão depositados. Podem ser assim efetuados cálculos da estimativa para a refrigeração de hortofrutícolas, bem como para o cálculo do meio tempo de arrefecimento ($t_{\frac{1}{2}}$) (Martins,2000).

3 DIMENSIONAMENTO E CONCEÇÃO DO EQUIPAMENTO

O objetivo deste dimensionamento foi idealizar um equipamento e posteriormente realizar a sua construção e teste. O dimensionamento em questão passa idealizar uma área interior de cerca de 5m² de área útil, na qual serão inseridos 12 frascos para colocar amostra. No total, o equipamento ficará com 7,12m² de área e é constituído por 3 camadas distintas, a primeira de aço inoxidável, um isolamento em poliuretano e um revestimento exterior de alumínio. Depois foram efetuados cálculos teóricos das cargas inerentes ao sistema e a potência mínima que o compressor instalado deveria conter. Seguidamente foi procurado no mercado um sistema de frio, juntamente com um sistema de circulação de uma solução de água glicolada, capaz de retirar calor aos produtos hortofrutícolas, refrigerando-os e foi feita uma breve descrição dos componentes instalados.

3.1 Condições de projeto

Para efetuar a construção de um equipamento ou camara de refrigeração, fazendo uma analogia à conceção de câmaras de refrigeração a nível industrial, foi realizado um planeamento para a construção da unidade de refrigeração de produtos hortofrutícolas, onde é de extrema importância perceber o clima envolvente, ou seja que condições de projeto são necessárias ter em conta na perspetiva da construção. Normalmente as regiões são escolhidas pela proximidade das culturas para uma melhor relação qualidade/preço atendendo ao mercado, bem como pelas condições psicométricas do local, mas neste caso será diferente, uma vez que a finalidade da construção é outra.

A unidade experimental será dimensionada e construída no Instituto Superior de Agronomia (ISA) em Lisboa, não com o objetivo de maximizar os ganhos pela proximidade, mas sim com o objetivo de auxiliar todos os que necessitem e julgarem pertinente a utilização deste equipamento para o estudo da influência da temperatura na conservação pós-colheita de produtos hortofrutícolas.

As condições de projeto são definidas com base nas características psicométricas exteriores e interiores e que depois serão utilizadas para diversos cálculos ao longo do trabalho.

Para a obtenção dos parâmetros psicométricos exteriores relevante para a conceção é necessário obter a informação da temperatura média (°C) e da humidade relativa (%), para o cálculo dos restantes parâmetros. No estudo a realizar, admite-se uma temperatura exterior de cerca de 25 °C, visto o equipamento estar num laboratório climatizado, onde a humidade relativa é de cerca de 55%.

Com base nos dois parâmetros acima descritos e com o auxílio de uma carta psicrométrica (Anexo1) é possível obter os parâmetros indicados no quadro 3.

Quadro 3- Constituição do ambiente exterior de projeto.

Propriedades	Constituição do ambiente exterior do equipamento
Temperatura de conservação (°C)	25
Humidade relativa de conservação (%)	55
Entalpia (kJ/kg)	53
Volume específico do ar (m ³ .kg ⁻¹)	0,861

Depois para uma conceção e dimensionamento eficaz, é necessário ter em conta também as condições que se pretendem atingir no interior do equipamento. As condições estão no quadro seguinte e foi utilizada novamente cartas psicométricas em anexo 1 para obter os valores pretendidos.

Quadro 4- Recomendações para o ambiente de conservação dos frutos que se pretende atingir na refrigeração, temperatura e humidades relativas retiradas de United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service, Beltsville Area / BARC, 2014.

Propriedades	Fruto	
	Morango	Pera
Temperatura de conservação (°C)	0	-1
Humidade relativa de conservação (%)	90-95	90-95
Entalpia do ar à temperatura final (kJ.kg ⁻¹)	8	6
Volume específico do ar (m ³ .kg ⁻¹)	0,777	0,774

3.2 Caracterização e dimensionamento do equipamento

O objetivo do dimensionamento dos espaços frigoríficos é perceber, para uma quantidade inicial pré-estabelecida de produto a ser armazenado, as dimensões que terão de ter as câmaras frigoríficas. Neste caso, irá ser dimensionado o equipamento e seus componentes para a quantidade de amostra com que se pretende efetuar estudos.

Para o dimensionamento das câmaras de armazenamento, é normalmente necessário realizar o cálculo do número de paletes a armazenar. Para este cálculo é necessário conhecer alguns parâmetros, como o produto a armazenar e suas propriedades, a sua quantidade, a densidade do produto, a dimensões das paletes, a dimensões das portas e a altura das câmaras e a capacidade máxima da câmara de refrigeração.

No caso do equipamento experimental, para efetuar os cálculos para o dimensionamento do equipamento experimental é necessário saber a massa da amostra que irá estar em estudo, o produto a armazenar e suas propriedades e a densidade do produto a ser armazenado. A partir daí será possível dimensionar os frascos e todo o resto da armação que dá forma e isola o equipamento, bem como o sistema de frio e de circulação.

O dimensionamento será operado partindo dos hortofrutícolas e suas características, depois passando pelo sistema hortofrutícola-frasco e por final pelo sistema frasco- equipamento de acondicionamento e controlo.

3.2.1 Constituição e dimensionamento dos frascos

No caso em estudo serão utilizados para colocar os hortofrutícolas doze frascos de vidro, que servirão de suporte físico às amostras. O objetivo desta utilização é os hortofrutícolas não estarem em contato direto com a solução que efetuará a refrigeração e que circulará em torno dos frascos.

Para o cálculo do número de frascos e necessário recorrer há equação da massa específica de cada hortofrutícola em estudo (para a elaboração do projeto, os hortofrutícolas escolhidos para ser a base experimental foram o morango e a pera). Através desta fórmula é possível calcular o volume que será utilizado pela massa de produto colocada em cada frasco, determinado pela relação da massa (kg) e massa específica (kg.m^{-3}).

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow V = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

Em que:

- ρ - Massa específica (kg.m^{-3})
- m - Massa (kg)
- V - volume (m^3)

Depois de determinado o volume que será utilizado pelos produtos, é necessário obter as dimensões dos frascos e a partir desse dimensionamento calcular o número de frascos que terá o equipamento em construção, bem como as suas dimensões finais.

Para o dimensionamento dos frascos utilizados, é necessário determinar a massa de amostra que se quer analisar, foi estabelecido que seriam utilizados cerca de 7,5 kg de produto, quantidade que será capaz de reproduzir os ensaios pretendidos.

A massa específica de produtos hortofrutícolas, segundo (Martins,2000) é exequível de estimar com recurso a utilização das propriedades termofísicas com precisão aceitável, a partir da composição química em água (A), lípidos (L) e outros componentes tais como proteínas e glúcidos que corresponde ao total de sólidos (S), e assim as frações em massa tem de ser igual 1, ou seja:

$$A + L + S = 1 \quad (4)$$

Recorrendo, à Tabela da Composição de alimentos do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, é possível obter as composições dos frutos em estudo (INSA, 2007).

Como anteriormente enunciado foram escolhidos para a elaboração do projeto, como base experimental, o morango e a pera rocha e foram então calculadas as frações mássicas dos vários constituintes dos hortofrutícolas.

Quadro 5- Determinação da composição dos frutos que serão alvo de estudo em fração mássica.

	Água (A) em fração mássica	Lípidos (L) em fração mássica	Sólidos (S) em fração mássica
Morango	0,901	0,004	0,095
Pera	0,851	0,004	0,145

Através da determinação das frações mássicas é assim possível calcular a massa específica dos frutos (ρ) em kg.m^{-3} , sendo esta o inverso do volume específico (V_e), dado por:

$$V_e = \frac{A}{1000} + \frac{L}{850} + \frac{S}{1300} \quad (5)$$

E portanto:

$$\rho = \frac{1}{\frac{A}{1000} + \frac{L}{850} + \frac{S}{1300}} \quad (6)$$

Quadro 6- Massa específica (ρ) dos frutos em estudo, calculado utilizando a equação 6.

Fruto	Massa específica (ρ) em (kg.m^{-3})
Morango	1021,7
Pera	1033,87

Recorrendo há equação 3, já é possível calcular o volume utilizado para a massa de amostra de fruto que se pretende ter em estudo necessário para o dimensionamento dos frascos, sabendo que terá de ser deixado um espaço (de cabeça) de forma a haver uma circulação de gases dentro dos mesmos e que serão utilizados 2 frascos sem qualquer fruto de forma a funcionar como controlo aos restantes, em testes com os restantes 10 frascos a serem utilizados.

Quadro 7- Volume total necessário para 7,5 kg de produto.

Fruto	Volume total necessário (m^3)
Morango	0,00734
Pera	0,00725

Foi procurado no mercado, frascos que pudessem corresponder às especificações do projeto em causa. Foram encontrados frascos com um volume de $0,00215 \text{ m}^3$ cada um e estão representados na figura 4.

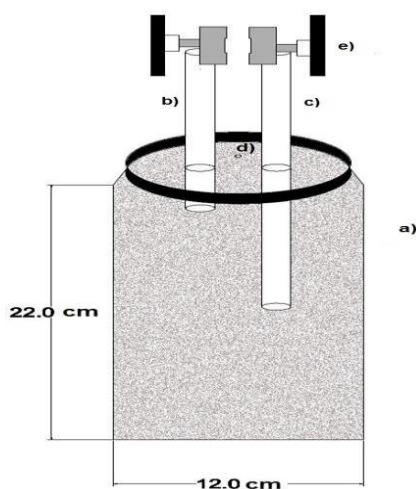


Figura 4- Do lado esquerdo uma representação esquemática do frasco adquirido e do lado direito uma imagem real de um exemplar dos frascos utilizados. Legenda: a) Frasco; b) Tubagem para saída de gases; c) Tubagem para entrada de gases; d) Orifício para recolha de amostra gasosa do interior do frasco e e) Válvula para regular a circulação de gases.

Para o estudo a efetuar no projeto inicial de dimensionamento e construção do equipamento as válvulas de regulação de gases estarão fechadas. Estas foram instaladas, posteriormente à compra dos frascos, com o propósito futuro da instalação de um sistema que efetue a mistura de gases e que promova uma atmosfera controlada dentro dos mesmos, mas que não foi o objetivo deste trabalho.

Assim no total, cada frasco tem de volume total de $0,00215 \text{ m}^3$ e tendo em conta o espaço de circulação de gases e o volume necessário por frasco para cada tipo de produto, para a refrigeração de 7,5 kg de produto, foram adquiridos 12 frascos com o volume total de:

$$V_{frascos} = 0,00215 \times 12 \Leftrightarrow V_{frascos} = 0,0258 \text{ m}^3$$

Retirando os dois frascos de controlo:

$$V_{frascos} = 0,00215 \times 10 \Leftrightarrow V_{frascos} = 0,0215 \text{ m}^3$$

Depois, é necessário proceder há divisão do total dos 7,5 kg de produto pelos 10 frascos, ou seja:

$$m_{d/f} = \frac{7,5 \text{ kg}}{10 \text{ frascos}} \Leftrightarrow m_d = 0,750 \text{ kg} \Leftrightarrow m_d = 750 \text{ g}$$

Em que:

- $m_{d/f}$ - Massa de produto por frasco

Logo, cada frasco terá cerca de 0,750 kg de produto. Realizou-se o mesmo cálculo, para o total da massa de produto.

Quadro 8- Volume necessário por frasco, onde estará 0,750 kg de amostra

Fruto	Volume necessário por frasco (m^3)
Morango	0,000734
Pera	0,000725

Assim observando o seguinte quadro, é possível perceber através dos cálculos efetuados que os frascos foram uma opção concebível e estão bem dimensionados para o volume de fruto que será alvo de estudo, de forma a haver uma boa circulação de gases no interior e que não ocorra danos físicos nos produtos por sobreposição.

Quadro 9- Comparação entre o volume requerido pelo produto e o volume útil utilizado no equipamento(m^3).

Fruto	Volume necessário por frasco	Volume útil de cada frasco	Volume total necessário	Volume útil dos 10 frascos com amostra	Volume útil dos 12 frascos
Morango	0,000734	0,00215	0,00734	0,0215	0,0258
Pera	0,000725	0,00215	0,00725	0,0215	0,0258

3.2.2 Constituição e dimensionamento da área do equipamento

Depois de escolhidos os frascos, foi necessário conceber uma estrutura que suporte os respetivos com os hortofrutícolas no seu interior, bem como um sistema de frio e circulação de uma solução de água glicolada, que será acoplado com todos os seus constituintes.

Esta conceção teve em atenção, a necessidade de isolamento das paredes, teto e pavimento que uma câmara de conservação tem que conter para assegurar uma refrigeração uniforme e constante dos produtos em estudo, ao longo do tempo.

A construção do equipamento numa estrutura em “bloco” foi assim concebida de modo a facilitar o transporte do equipamento, caso seja necessário.

Para este dimensionamento, um estudo prévio foi efetuado de dentro para fora. Ou seja, partindo dos frascos já dimensionados e da perceção de todos os constituintes terão de integrar a área útil do tanque (que será o núcleo do equipamento), a mesma foi calculada e desenhada. Posteriormente, realizou-se o mesmo processo para o isolamento do equipamento, tendo em conta as suas características e dos produtos a conservar, uma vez que se trata de produtos hortofrutícolas frescos. E por fim foi dimensionada a estrutura exterior de proteção promovendo uma maior robustez e estanqueidade ao tanque.

3.2.2.1 Área interna do equipamento

Para a construção da área interna do equipamento foi escolhido o aço inoxidável como material a aplicar, sendo utilizadas chapas de 1,5 mm para a construção. O aço tem como características (El-Sonbaty, 2004):

- Alta resistência à corrosão;
- Resistência mecânica adequada;
- Resistência a altas temperaturas;
- Facilidade de limpeza/Baixa rugosidade superficial;
- Aparência higiénica;
- Material inerte;
- Facilidade de conformação;
- Facilidade de união;
- Resistência a temperaturas criogénicas (abaixo de 0 °C);
- Resistência às variações bruscas de temperatura;
- Relação custo/benefício favorável;
- Baixo custo de manutenção;
- Material reciclável.

Depois de escolhido o material a utilizar foi necessário o dimensionamento da área útil tendo em consideração várias condições:

- O número de frascos;
- As dimensões dos frascos;

- O espaço para a colocação dos frascos;
- A distância entre frascos;
- A distância entre paredes e frascos;
- A distância entre teto e frascos;
- A distância entre pavimento e frascos (aqui é necessário ter em conta as tubagens de circulação da solução de refrigeração, bem como a grelha de suporte para os frascos).

Assim, são utilizados 12 frascos com as seguintes dimensões:

- Comprimento $\Rightarrow 12\text{ cm} = 0,12\text{ m}$
- Largura $\Rightarrow 12\text{ cm} = 0,12\text{ m}$
- Altura $\Rightarrow 22\text{ cm} = 0,22\text{ m}$

3.2.2.2 Cálculo para o dimensionamento da área e volume interno do equipamento

Para facilitar a visualização dos cálculos efetuados a figura seguinte ilustrará como foi pensado o esquema da área útil e posteriormente são apresentados os cálculos:

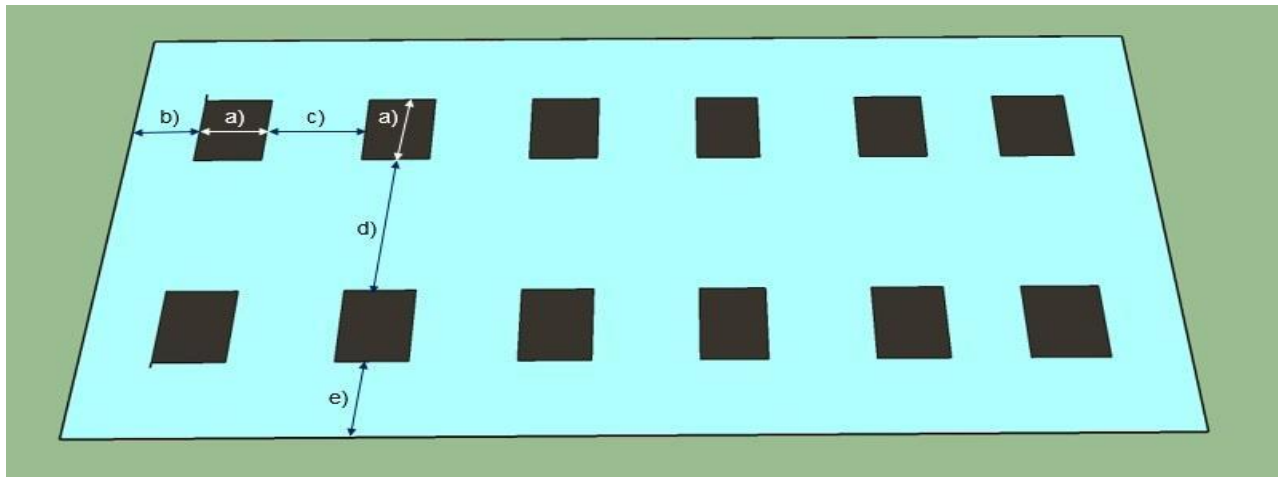


Figura 5- Ilustração da vista de cima do equipamento experimental. Legenda: a) Espaço para a colocação de um frasco, b) Distância na horizontal entre a parede e o primeiro espaço para colocação de um frasco, c) Distância entre dois espaços para a colocação de frascos na horizontal, d) Distância entre dois espaços para a colocação de frascos na vertical e e) Distância entre parede e o espaço para colocação de frascos na vertical.

Numa correspondência com a figura 5, foi colocado nos cálculos seguintes a letra correspondente a cada espaço, para uma melhor identificação dos mesmos.

Comprimento interno:

- Espaço para a colocação de um frasco $\Rightarrow 13\text{ cm} = 0,13\text{ m}$ (a)
- Distância entre parede e frasco na horizontal $\Rightarrow 13\text{ cm} = 0,13\text{ m}$ (b)
- Distância entre frascos na horizontal $\Rightarrow 18,5\text{ cm} = 0,185\text{ m}$ (c)

$\text{Comprimento (C)} = (0,13 \times 6) + (0,13 \times 2) + (0,185 \times 5) = 1,965\text{ m} \approx 2\text{ m}$

Largura interna:

- Espaço para a colocação de um frasco $\Rightarrow 13\text{ cm} = 0,13\text{ m}$ (a)

- Distância entre frascos $\Rightarrow 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ (d)
- Distância entre parede e frasco na vertical $\Rightarrow 14,5 \text{ cm} = 0,145 \text{ m}$ (e)

$$\text{Largura (L)} = (0,13 \times 2) + (0,25 \times 1) + (0,145 \times 2) = 0,80 \text{ m}$$

Altura:

- Distância entre pavimento e frascos $\Rightarrow 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
- Espaço utilizado pelo frasco $\Rightarrow 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$ (um frasco tem 22 cm de altura, mas como cerca de 4 cm ficam acima da área útil, não são contabilizados.)

$$\text{Altura (H)} = 0,15 + 0,18 = 0,33 \text{ m}$$

$$\text{Área interna total} = 2 \times ((C \times L) + (C \times H) + (L \times H)) \quad (7)$$

$$\text{Área interna total} = 2 \times ((2 \times 0,80) + (2 \times 0,33) + (0,80 \times 0,33)) \Leftrightarrow \text{Área útil total} = 5,05 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume interno} = C \times L \times H \quad (8)$$

$$\text{Volume interno} = 2 \times 0,80 \times 0,33 \Leftrightarrow \text{Volume útil} = 0,528 \text{ m}^3 = 528 \text{ l}$$

Efetuada os cálculos é possível então fazer uma representação aproximada do dimensionamento pretendido, ilustrado na figura seguinte.

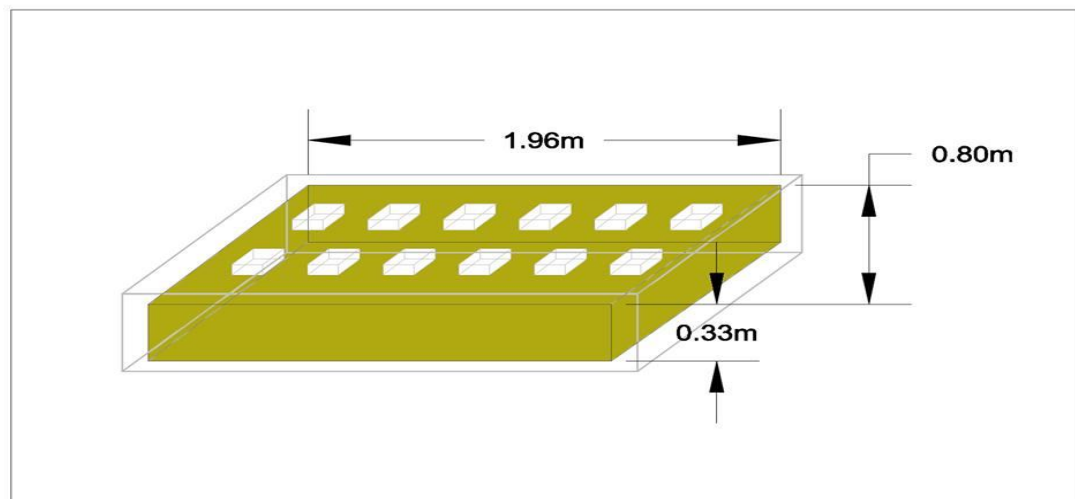


Figura 6- Representação da área interna do equipamento a ser dimensionado.

3.2.3 Isolamento

O isolamento é uma parte crucial do equipamento experimental. Este é responsável por isolar a câmara, de modo a minimizar as trocas de calor com o exterior. Aquando na seleção do isolamento, tem que se considerar o seu custo, eficácia, durabilidade e a espessura a utilizar.

Calculado a área útil do equipamento, foi efetuada uma segunda etapa, o cálculo teórico da espessura mínima que terá de possuir o isolamento do equipamento. Entre os vários materiais que podem ser utilizados para este efeito a escolha recaiu, para o revestimento, sobre o poliuretano, devido à fiabilidade demonstrada até ao momento nas suas diversas aplicações.

O poliuretano, é um material plástico resultante da reação química de dois componentes básicos, poliisocianato e isocianato, em associação com aditivos que controlam e homogeneizam o resultado final (Seymour, 1992). Assim o poliuretano é um dos polímeros de maior uso e maior importância em praticamente todos os mercados de bens de consumo e uso industrial, sendo utilizado em paredes e tetos no revestimento de câmaras de refrigeração. No equipamento experimental será introduzido em forma de espuma e formará a camada de isolamento entre a parede interior de aço inoxidável e a exterior de alumínio.

O poliuretano possui uma condutividade térmica cerca de $0,022 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ (Seymour, 1992) e apresenta vantagens em relação a outros materiais isolantes, como:

- Isolamento térmico e acústico;
- Alta densidade e é impermeável à água;
- Baixo peso, não sobrecarregando as paredes;
- Longa duração;
- Elimina condensações;
- Possui ótima flexibilidade e grande resistência à compressão.

Para efetuar os cálculos, com vista o tipo de revestimento utilizar, foi considerado um fluxo de calor máximo admissível, para o caso de câmaras de produtos refrigerados, entre 8 a 10 W.m^{-2} .

3.2.3.1 Espessura do isolamento

A espessura do isolamento pode ser calculada aplicando a lei de Fourier, tendo em consideração que as paredes, teto e o pavimento estarão em contato direto com o ambiente exterior.

A espessura do isolamento é dada pela seguinte expressão:

$$e = \frac{k}{q_{m\acute{a}x}} \times \Delta T \quad (9)$$

Em que:

- e – Espessura de isolamento (mm);
- k – Condutividade térmica do material ($\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$);
- $q_{m\acute{a}x}$ – Fluxo máximo de calor para refrigerados – (10 W.m^{-2})
- ΔT – Diferencial de temperatura do espaço frigorífico (°C)

Espessura das paredes, teto e pavimento:

Recorrendo à equação 9, foi calculada a espessura de acordo com a condutividade térmica enunciada para o material isolante que será utilizado.

$$e = \frac{0,022}{10} \times (25 - (-1)) \Leftrightarrow e = 0,057 \text{ m} \Leftrightarrow e = 57 \text{ mm}$$

O que significa que tendo em conta os valores médios, se o revestimento for feito em poliuretano, este tem de ter uma espessura mínima de 57 mm.

Na prática a espessura mínima utilizada será cerca de 60 mm = 0,06 m de forma a garantir um bom isolamento do teto e do pavimento, de modo a evitar danos estruturais, especificamente curvaturas nos painéis. Por outro lado as paredes laterais do equipamento terão um reforço no isolamento e ficaram com cerca de 90 mm = 0,09 m de espuma de poliuretano na perspetiva de tirar a melhor rentabilidade possível do isolamento.

3.2.4 Área e volume exterior do equipamento

Esta é a próxima etapa para a construção do equipamento, o objetivo aqui passa por finalizar o dimensionamento do cerne do equipamento, ou seja a estrutura onde será efetuado as atividades experimentais. Para a construção da última camada de proteção foi utilizado chapas de alumínio com cerca de 6 mm.

O alumínio tem uma densidade de 2,7 g.cm⁻³, aproximadamente um terço da densidade do aço, tornando assim o equipamento mais leve. A liga de alumínio têm elevada resistência, não sendo quebradiça a baixas temperaturas. Pelo contrário, a sua resistência aumenta, mas perante altas temperaturas, a resistência do alumínio diminui. A temperatura superior a 100°C a resistência é afetada, de tal modo que o enfraquecimento deve ser tido em consideração, mas para o efeito não é aplicável. O alumínio têm uma maleabilidade elevada sendo essencial no seu processo de extrusão e esta é uma característica explorada na laminagem das chapas, bem como no encurvamento e noutras operações de moldagem que foram necessárias há construção (Cavaliere, 2005).

Como outras características o alumínio é um bom refletor, tanto de luz visível como de calor, a blindagem criada por este material pode afastar ou proteger com rendimento de radiações, criando assim uma caixa hermética.

Por fim o alumínio têm resistência à corrosão, reagindo com o oxigénio do ar formando uma película de óxido extremamente fina. A película é densa e proporciona uma excelente proteção contra a corrosão.

Assim, é possível fazer uma representação esquemática das paredes, teto e pavimento do equipamento e de seguida calcular a sua área.

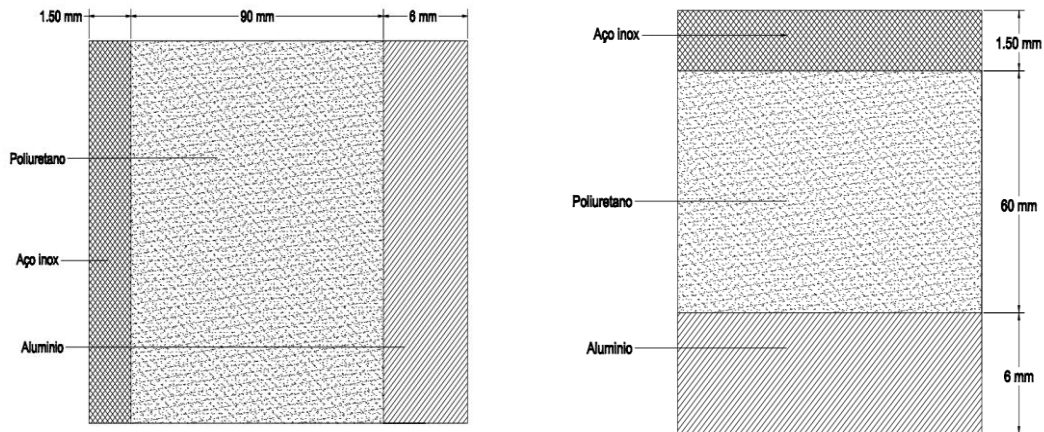


Figura 7- Representação em corte das paredes utilizadas para a constituição do equipamento. Na imagem à esquerda a representação das paredes laterais e na imagem à direita do teto e pavimento.

3.2.4.1 Cálculo da área e volume exterior do tanque

Para o cálculo da área externa do equipamento é necessário ter em conta as dimensões das paredes que foram utilizadas e seu isolamento, sendo seguido o mesmo método de cálculo utilizado para a área útil e assim para a área externa do tanque considera-se:

- Comprimento $\Rightarrow 2,18 \text{ m}$ (C)
- Largura $\Rightarrow 0,98 \text{ m}$ (L)
- Altura $\Rightarrow 0,45 \text{ m}$ (H)

Logo:

$$\text{Área}_{\text{exterior}} = 2 \times ((2,18 \times 0,98) + (2,18 \times 0,45) + (0,98 \times 0,45)) = 7,12 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume}_{\text{exterior}} = 2,18 \times 0,98 \times 0,45 = 0,9614 \text{ m}^3 = 961,4 \text{ l}$$

Calculado a área e o volume exterior é possível fazer uma representação da estrutura exterior e suas dimensões, como demonstrado na figura 8.

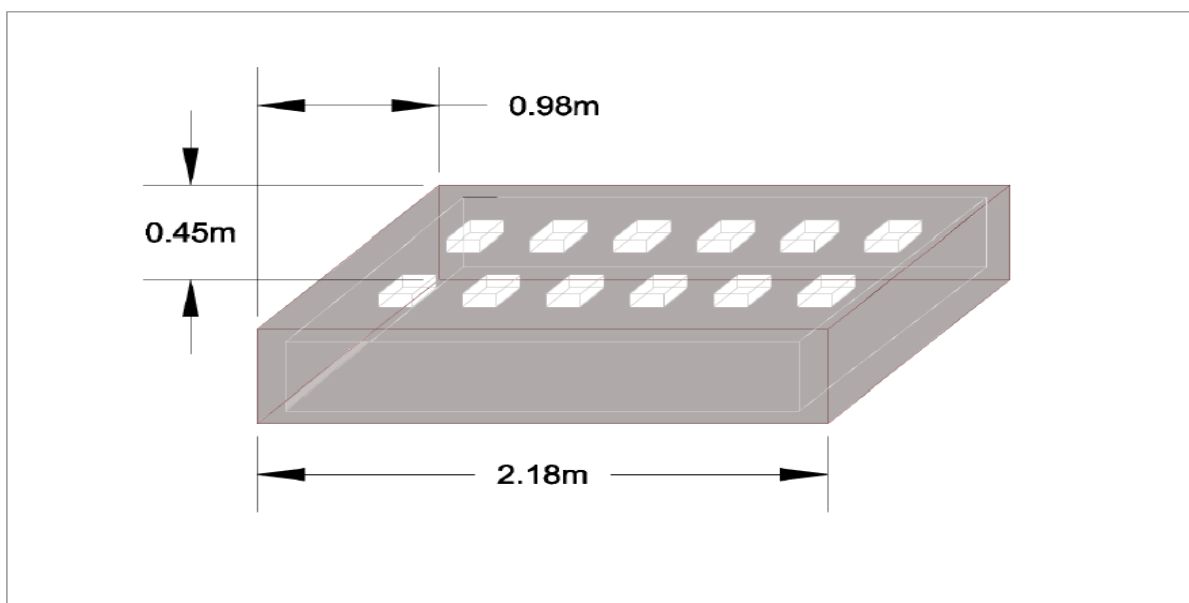


Figura 8- Representação da área exterior do equipamento dimensionado.

3.3 Constituição do sistema de frio e circulação da solução

Depois de serem detalhadas as partes que constituem a área do equipamento, é necessário idealizar um modo de proceder à refrigeração desse espaço, como já vem sendo referido ao longo da dissertação, o objetivo é conseguir reproduzir condições semelhantes às criadas em câmaras de refrigeração.

Para isso é necessário, começar por definir as cargas térmicas inerentes há instalação. Estas podem ser variáveis e depende do produto que irá ser alvo de estudo, e portanto não se trata de um processo estanque, mas sim variável que depende de diversos fatores.

A carga térmica, é portanto a porção de calor sensível que deve ser retirado de um ambiente de modo a serem mantidas as condições de temperatura e humidade estabelecidas para a câmara de refrigeração (Collin D., 1975) e através do cálculo das cargas térmicas é possível efetuar uma previsão da quantidade de calor que é necessário retirar ao sistema.

As cargas térmicas existentes numa câmara de refrigeração podem ser divididas em dois grupos, as cargas térmicas externas e internas, para o dimensionamento da unidade experimental será utilizada essa metodologia.

As cargas térmicas externas estão associadas às trocas de calor através da envolvente exterior da zona onde se irá situar a unidade. Sendo cargas resultantes do fluxo de calor através das paredes, teto, pavimento, renovação do ar e a abertura dos frascos.

Já as cargas térmicas internas podem ser dependentes ou independentes do produto armazenado. No quadro 10 estão discriminadas as cargas térmicas presentes com maior relevância no dimensionamento do equipamento.

Quadro 10- Cargas térmicas presentes na unidade experimental a ser dimensionada.

Cargas térmicas externas
Q ₁ - Carga térmica através das paredes, teto e pavimento
Q ₂ - Carga térmica devida à abertura de frascos e renovação de ar
Cargas térmicas internas
Independentes dos produtos armazenados
Q ₃ - Carga térmica devida à iluminação do equipamento
Q ₄ - Carga térmica devida à refrigeração da solução que circula no equipamento
Q ₅ - Carga térmica devido aos frascos
Dependentes dos produtos armazenados
Q ₆ - Carga térmica à temperatura de entrada do produto
Q ₇ - Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos

Neste projeto serão calculadas as cargas térmicas, tendo em conta as suas limitações, uma vez que a construção é a uma escala piloto, com algum grau de erro associado. Os balanços térmicos, serão realizados seguindo a metodologia apresentada no ponto 3.3.1 da presente dissertação. Para alguns cálculos das cargas térmicas será tomado como base, os valores referência

da pera, uma vez que esta tem uma temperatura baixa de conservação, sendo esta uma situação que requererá um grande dispêndio energético do sistema. Os cálculos serão análogos, por exemplo, para o morango ou batata, que serão outros hortofrutícolas utilizados para os testes ao equipamento.

3.3.1 Cálculo das cargas térmicas

3.3.1.1 Cargas térmicas através das paredes, teto e pavimento (Q_1)

Para o cálculo das cargas térmicas através das paredes, teto e pavimento é importante ter em conta o modo como é feita a propagação do calor.

Existe dois tipos de propagação de calor existentes nas paredes, teto e pavimento, que são a condução e a convecção.

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de maior temperatura para outra de inferior temperatura dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto (Holman, 1983).

A lei de Fourier, estabelece qual o fluxo de calor por condução, numa dada direção do fluxo e ao gradiente de temperatura naquela direção.

Deste modo e segundo (Holman J., 1983) a transmissão de calor por condução é dada pela expressão:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (10)$$

E integrando a expressão obtêm-se:

$$q = k \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (11)$$

Em que:

- q – Transferência de calor por condução (W);
- k – Condutividade térmica do material ($\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$);
- A – Superfície da temperatura considerada (m^2);
- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada (°C);
- Δx – Diferença de espessura entre as duas faces da parede considerada (m).

A convecção é definida como uma propagação de calor em que a energia térmica é transmitida mediante transporte de matéria, havendo portanto um deslocamento de partículas (Holman J., 1983) e a seguinte equação representa a equação de Newton de transferência de calor por convecção:

$$q = h \times A \times \Delta T \quad (12)$$

Em que:

- q – Transferência de calor por convecção (W)
- h – Coeficiente de transferência térmica ($\text{W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$)
- A – Superfície da temperatura considerada (m^2)
- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada (°C);

Através da expressão 11 e 12, obteve-se a seguinte expressão:

$$Q_1 = U \times A \times \Delta T \quad (13)$$

Em que:

- Q_1 – Carga térmica através das paredes, teto e pavimento (W);
- U – Coeficiente global de transmissão de calor da parede considerada ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$);
- A – Superfície da temperatura considerada (m^2);
- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada ($^\circ\text{C}$).

As cargas térmicas através de cada parede, teto e pavimento podem ser calculadas aplicando a fórmula 13, para isso é necessário determinar os vários parâmetros envolvido nesta.

O coeficiente global de transferência de calor não é mais que o inverso da resistência térmica do mesmo material. A resistência térmica pode ser calculada através da equação:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{\Sigma e}{k} + \frac{1}{h_e} \quad (14)$$

Em que:

- R – Resistência térmica
- $\frac{1}{h_i}$ – Resistência térmica de convecção na superfície interna ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)
- $\frac{\Sigma e}{k}$ – Somatório das resistências térmicas de condução das diferentes camadas de materiais que constituem a parede ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$);
- $\frac{1}{h_e}$ – Resistência térmica de convecção na superfície externa ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)

O coeficiente global de transferência de calor será assim:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Sigma e}{k} + \frac{1}{h_e}} \quad (15)$$

Admitindo valores de 50 e 30 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, para os coeficientes de transferência térmica por convecção na superfície interna e resistência de convecção na superfície externa, respetivamente.

A parcela $\frac{\Sigma e}{k}$, faz referência às várias camadas das paredes, teto e pavimento. O equipamento é bem isolado termicamente, sendo apenas necessário considerar no cálculo a resistência térmica do material isolante constituinte do painel isotérmico, desprezando assim os outros materiais que o constituem, o aço inoxidável e o alumínio.

Assim recorrendo às equações (14) e (15) e utilizando para o cálculo a condutividade térmica de 0,022 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ do poliuretano, é possível efetuar o cálculo para a espessura de 60mm do teto e pavimento e para a espessura de 90 mm das paredes.

Para a espessura de 60mm:

$$R = \frac{1}{50} + \frac{0,06}{0,022} + \frac{1}{30} \Leftrightarrow R = 2,80 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot \text{W}^{-1}$$

Logo:

$$U = \frac{1}{2,83} \Leftrightarrow U = 0,35 \text{ W} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$$

Para a espessura de 90mm:

$$R = \frac{1}{50} + \frac{0,09}{0,022} + \frac{1}{30} \Leftrightarrow R = 4,14 (m^2 \cdot ^\circ C). W^{-1}$$

Logo:

$$U = \frac{1}{4,19} \Leftrightarrow U = 0,24 W. (m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1})$$

Através dos valores calculados, é possível determinar a carga térmica através de paredes, teto e pavimentos, mas para isso é necessário conhecer as seguintes áreas:

- Teto (cobertura)- Área externa $\Rightarrow 2,18 \times 0,98 = 2,14 m^2$
- Pavimento- Área externa $\Rightarrow 2,18 \times 0,98 = 2,14 m^2$
- Paredes laterais grandes (L1 e L2)- Área externa $\Rightarrow 2,18 \times 0,45 = 0,98 m^2$
- Paredes laterais pequenas (L3 e L4)- Área externa $\Rightarrow 0,98 \times 0,45 = 0,441 m^2$

A temperatura exterior utilizada para o cálculo é 25°C.

De seguida calcula-se as cargas térmicas:

Quadro 11- cargas térmicas através de teto, pavimento e paredes e carga térmica total do somatório das anteriores.

Parede L1	$Q_{L_1} = 0,24 \times 0,441 \times (25 - (-1)) = 2,75 W$
Parede L2	$Q_{L_2} = 0,24 \times 0,441 \times (25 - (-1)) = 2,75 W$
Parede L3	$Q_{L_3} = 0,24 \times 0,98 \times (25 - (-1)) = 6,12 W$
Parede L4	$Q_{L_4} = 0,24 \times 0,98 \times (25 - (-1)) = 6,12 W$
Teto	$Q_{teto} = 0,35 \times 2,14 \times (25 - (-1)) = 19,47 W$
Pavimento	$Q_{pavimento} = 0,35 \times 2,14 \times (25 - (-1)) = 19,47 W$
Q_1	$Q_1 = Q_{L_1} + Q_{L_2} + Q_{L_3} + Q_{L_4} + Q_{teto} + Q_{pavimento} = 56.69W \sim 57 W$

3.3.1.2 Carga térmica devida à abertura dos frascos e renovação de ar (Q_2)

Criando uma analogia a um sistema de ventilação, pode ser necessário na instalação haver uma certa renovação de ar no interior dos frascos, que basicamente é a substituição de ar saturado, por ar exterior novo, que deverá ser arrefecido até à temperatura que se encontra dentro dos frascos.

Esta necessidade deve-se ao facto do produto respirar e como tal, se o ar não for renovado, este chega a um nível de saturação e causa alterações no produto, isto em condições padrão, sem alteração da atmosfera nos frascos.

Assim para este cálculo foi utilizada a fórmula seguinte, que relaciona o número de renovações expectáveis por hora, com o volume dos frascos, o volume específico do ar exterior e a diferença de entalpias entre o exterior e o interior:

$$Q_2 = N \times \frac{V}{V_{esp.}} \times \Delta H \quad (16)$$

Em que:

- Q_2 – Carga térmica devida à abertura dos frascos e renovação de ar
- N – nº de renovações por hora necessários, sendo que os frascos poderão ser abertos em média entre 0 a 2 vezes para medições durante os testes, arbitrou-se como 2 um número de renovações por hora plausível (h^{-1}).
- V – Volume do conjunto dos 12 frascos (m^3);
- $V_{esp.}$ – Volume específico do ar exterior ($m^3.Kg^{-1}$);
- ΔH – Diferença de entalpias entre o ar exterior e o ar da unidade experimental ($kJ.kg^{-1}$).

Recorrendo a dados já anteriormente recolhidos temos um volume para os 12 frascos de $0,0258 m^3$, um volume específico de $0,861 m^3.kg^{-1}$ e as entalpias são para o ar exterior de $53 kJ.kg^{-1}$ e para o interior de $6 kJ.kg^{-1}$.

Assim:

$$Q_2 = 2 \times \frac{0,0258}{0,861} \times (53 - 6) \Leftrightarrow Q_2 = 2,81 \frac{kJ}{h} \Leftrightarrow Q_2 = \frac{2,81}{3600} \frac{kJ}{s} \times 1000 \Leftrightarrow Q_2 = 0,78 W$$

3.3.1.3 Carga térmica devida à iluminação (Q_3)

No caso do equipamento experimental, uma vez que se trata de um ambiente normal de laboratório, este está equipado de lâmpadas fluorescentes, e segundo as especificações da embalagem, estas tem uma potência de 36 W. Conhecida a potência de uma lâmpada e a área de cada orifício onde os frascos estão colocados, ou seja a área de exposição há luz, é possível calcular a carga térmica das lâmpadas (q). E através da expressão seguinte calcular a carga térmica devida à iluminação:

$$Q_3 = A_{exp. no teto} \times q \times \frac{tf}{t} \quad (17)$$

Em que:

- Q_3 – Carga térmica devido à iluminação da câmara (W);
- $A_{exp. no teto}$ – Área do teto exposta à entrada de luz (m^2);
- q – Carga térmica das lâmpadas ($W.m^{-2}$);
- tf – Tempo funcionamento de cada lâmpada (s);
- t – Horas de funcionamento do local (s).

Assim sendo e sabendo que são 8 as lâmpadas no laboratório e a área para a colocação dos frascos de:

- Área para a colocação de um frasco = $0,13 \times 0,13 = 0,017 m^2$

Logo, sendo utilizados 12 frasco a área de exposição à luz será:

$$A_{exp.no teto} = 12 \times 0,017 = 0,204 m^2$$

A sala será iluminada cerca de 4 horas diárias, tempo para ser realizado as medições:

$$q = \frac{(36 \times 8)}{0,204} (=) q = 1411,8 \text{ W.m}^2$$

Assim:

$$Q_3 = 0,204 \times 1411,8 \times \frac{14400}{86400} = 48 \text{ W}$$

3.3.1.4 Carga térmica devida à refrigeração da solução que circula no equipamento (Q_4)

A solução de água glicolada utilizada para a refrigeração e circulação dentro do equipamento que foi dimensionado tem que ser arrefecida antes de retirar calor ao sistema frasco-hortofrutícola. Esta encontra-se à temperatura ambiente e é necessário refrigerar até à temperatura pretendida, o que significa que terá de ser retirado calor ao sistema.

Neste caso, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_4 = \frac{m \times C_p \times (\Delta T)}{t} \quad (18)$$

Em que:

- Q_4 – Carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos (W)
- m – Massa de produto introduzido por dia (kg);
- C_p – Calor específico acima da temperatura de congelação ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$);
- ΔT – é a diferença entre a Temperatura de entrada do produto na câmara (T_1 em $^{\circ}\text{C}$) e a Temperatura da câmara frigorífica (T_2 em $^{\circ}\text{C}$), ou seja ($T_1 - T_2$)
- t – Tempo de refrigeração (s)

Será utilizado o calor específico (C_p) da água que é $4,186 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$, para facilitar os cálculos, uma vez que será utilizado 10% de glicol na solução. A massa da solução pode ser calculada através da fórmula da massa específica, sabendo que a capacidade da área útil é de $0,528 \text{ m}^3$ e a massa específica da água é 1000 kg.m^{-3} .

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho \times V \Leftrightarrow m = 1000 \times 0,528 \Leftrightarrow m = 528 \text{ kg} \quad (19)$$

$$Q_4 = \frac{528 \times 4,186 \times (25 - (-1))}{86400} = 0,665 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 665 \text{ W}$$

3.3.1.5 Carga térmica devido a embalagens (Q_5)

A carga devido a embalagem é muito variante e depende do tipo de produto e de material utilizado para o seu acondicionamento, para o cálculo da carga térmica devido há utilização de embalagens, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_5 = \frac{\Sigma m_i \times C_p \times (T_i - T_f)}{t} \quad (20)$$

Em que:

- Q_5 – Carga térmica devido a embalagens (W)
- Σm_i – Massa de embalagem (kg)
- C_p – Calor específico do material ($\text{kJ.kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$)

- $(T_i - T_f)$ – Diferença entre a Temperatura de entrada do produto na câmara (em °C) e a Temperatura da câmara frigorífica (em °C)
- t – Tempo de refrigeração (s)

Quando existe mais do que um material de embalagem, por exemplo paletes e caixas de plástico rígido, o Q_5 é a soma das respetivas cargas de cada produto.

Para o cálculo da carga térmica devido a embalagem, neste caso particular do equipamento experimental, será considerado o frasco de vidro como embalagem na qual serão introduzidos os hortofrutícolas em estudo.

O vidro tem como calor específico $0,84 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ (Borgnakke S., 2009) e como já referido serão utilizados 12 frascos na unidade experimental.

$$m_{\text{frasco}} \approx 1,120 \text{ kg} - \text{Massa de um frasco}$$

$$\Sigma m_i = m_{\text{frasco}} \times 12 = 1,120 \times 12 = 13,44 \text{ kg}$$

$$Q_5 = \frac{\Sigma m_i \times C_p \times (T_i - T_f)}{t} = \frac{13,44 \times 0,84 \times (25 - (-1))}{86400} = 0,0034 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 1000 = 3,4 \text{ W}$$

3.3.1.6 Carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos (Q_6)

Os produtos, ao entrarem nas unidades de refrigeração, encontram-se a uma temperatura superior à temperatura das mesmas, o que significa que irão libertar calor para a atmosfera, até que atinga o equilíbrio com a temperatura da unidade.

Neste caso, o que se pretende é o cálculo da carga térmica devido à entrada de produtos e utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_6 = \frac{m \times C_p \times (\Delta T)}{t} \quad (21)$$

Em que:

- Q_6 – Carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos (W)
- m – Massa de produto introduzido por dia (kg);
- C_p – Calor específico acima da temperatura de congelação ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$);
- ΔT é a diferença entre a Temperatura de entrada do produto na câmara (T_1 em °C) e a Temperatura da câmara frigorífica (T_2 em °C), ou seja $(T_1 - T_2)$
- t – Tempo de refrigeração (s)

Recorrendo à equação 21, é possível determinar a carga associada à temperatura de entrada do produto.

Para o cálculo do Q_6 , é necessário saber o C_p dos frutos em estudo, segundo Martins, 2000, este pode ser calculado através da equação:

$$C_p = (4180 \times A) + (1900 \times L) + (1400 \times S) \quad (20)$$

Em que:

$$C_p - \text{Calor específico do fruto expresso em } (\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1})$$

A – Representa a fração mássica de água;

L – Representa a fração mássica de lípidos

S – Representa a fração mássica de outros componentes tais como proteínas e glúcidos que corresponde ao total de sólidos.

Sendo a quantidade padrão de amostra é 7,5 kg para os hortofrutícolas, foi calculado o Q_6 , tomando como exemplo a pera.

$$Q_6 = \frac{0,75 \times 3,768 \times (25 - (-1))}{86400} = 8,5 \times 10^{-4} \frac{kJ}{s} = (8,5 \times 10^{-4}) \times 1000 = 0,85 W$$

3.3.1.7 Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos (Q_7)

Para efeitos de dimensionamento das câmaras de refrigeração, podemos utilizar a equação seguinte para estimar a quantidade de calor produzida devido ao calor de respiração dos frutos (Almeida D., 2005).

$$Q_7 = \frac{m \times TR \times 10,88}{t} \quad (22)$$

Em que:

- Q_7 – Calor de respiração do produto (W)
- m – Massa do produto (kg)
- TR – Taxa respiratória do produto ($mg\ CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$)
- t – Tempo de refrigeração (h)

Para o cálculo da carga térmica devida ao calor emitido pelos frutos, durante a respiração este pode ser calculado através da equação 22.

Mas para isso é necessário saber o valor da taxa de respiração (TR) dos hortofrutícolas à temperatura que se quer conservar. Esta taxa, como referenciado na revisão bibliográfica, é influenciada pela temperatura, bem como pela atmosfera presente. No quadro seguinte estão valores para esta a temperaturas de conservação de 0 e 5 °C.

Quadro 12- Taxa de respiração dos frutos a 10 e 0 °C, (adaptado de Almeida, 2005 e de United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service, Beltsville Area / BARC, 2014).

Fruto	Taxa de respiração a 5 °C expresso em $mg\ CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$	Taxa de respiração a 0 °C expresso em $mg\ CO_2. Kg^{-1}.h^{-1}$
Pera	10 a 20	2,4 a 6

Logo se por hora a pera tem uma taxa de respiração de no máximo de 6 a 0 °C, por segundo tem cerca de 0,0017.

$$Q_7 = \frac{0,75 \times 0,0017 \times 10,88}{86400} = 1,61 \times 10^{-7} W$$

3.3.1.8 Carga térmica total

Efetuada os cálculos para as cargas mais pertinentes a serem removidas do equipamento experimental de refrigeração, é possível calcular a carga total a ser removida da unidade experimental, para posterior conceção do sistema que irá efetuar a refrigeração da mesma.

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 \quad (23)$$

$$Q_{total} = 57 + 0,78 + 48 + 665 + 3,4 + 0,85 + (1,61 \times 10^{-7}) \Leftrightarrow Q_{total} = 775,03 \text{ W}$$

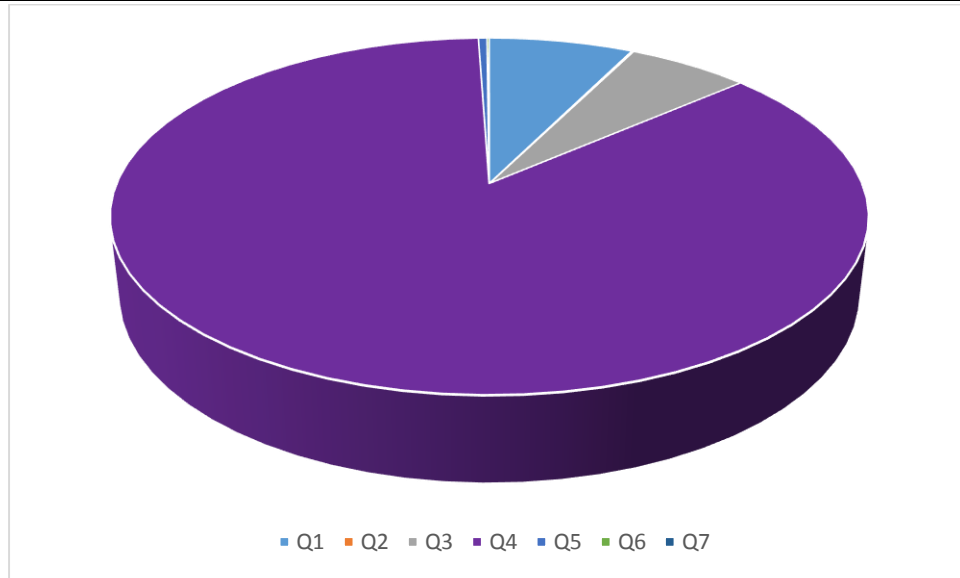


Figura 9- Peso relativo de cada carga térmica, sobre o total de cargas a retirar ao sistema (em %).

3.3.2 Sistema de frio e seus componentes

Depois de efetuado o cálculo da carga térmica total a retirar ao sistema, foi procurado no mercado um sistema de frio capaz de corresponder às exigências de refrigeração do equipamento, mas ao mesmo tempo que não ocupa-se demasiado espaço e fosse possível o seu transporte em simultâneo com a estrutura onde será realizada os trabalhos, como se de uma peça única se trate.

A refrigeração é um processo utilizado para a remoção de calor, ou seja funciona inversamente a um equipamento de fornecimento de calor. Esta aborda os processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente envolvente, existindo transferência de energia (na forma de calor), de um corpo frio para um corpo quente, pela aplicação de trabalho externo (ou calor) (Dossat, 2004; Trott, 1999).

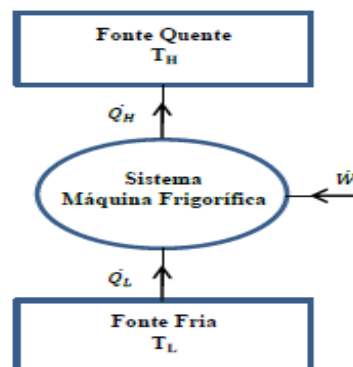


Figura 10- Sistema Termodinâmico da Máquina Frigorífica (Dinçer,2003).

A figura anterior demonstra, de um modo simplificado, o funcionamento de uma máquina de frio. O sistema pode começar a ser explicado pela fonte fria, que se encontra a uma temperatura T_L , o

objetivo passa pela remoção da carga térmica \dot{Q}_L (energia por unidade de tempo). Por sua vez o sistema de frio faz a rejeição de uma carga térmica para a fonte quente, \dot{Q}_H , que está a uma temperatura T_H . Os processos de transferência de calor são possíveis devido à potência mecânica que é necessário fornecer ao sistema de frio \dot{W} , em forma de trabalho.

Para a realização do sistema de frio será instalado um ciclo de compressão a vapor simples, sendo dos mais utilizados na indústria alimentar e aqui será reproduzido à escala piloto. Neste ponto será explanado o funcionamento de um ciclo e depois serão mencionados e descritos os equipamentos e materiais utilizados para a sua construção.

O ciclo de compressão a vapor é composto por quatro componentes fulcrais, um compressor, um condensador, um evaporador e uma válvula de expansão. A eficiência do sistema passa pela boa correspondência entre os vários componentes e seus acessórios. O sistema irá utilizar ciclos de expansão direta para conseguir retirar as cargas térmicas a ele inerentes.

Através dos seguintes diagramas pode-se distinguir as principais fases de um sistema de compressão de vapor:

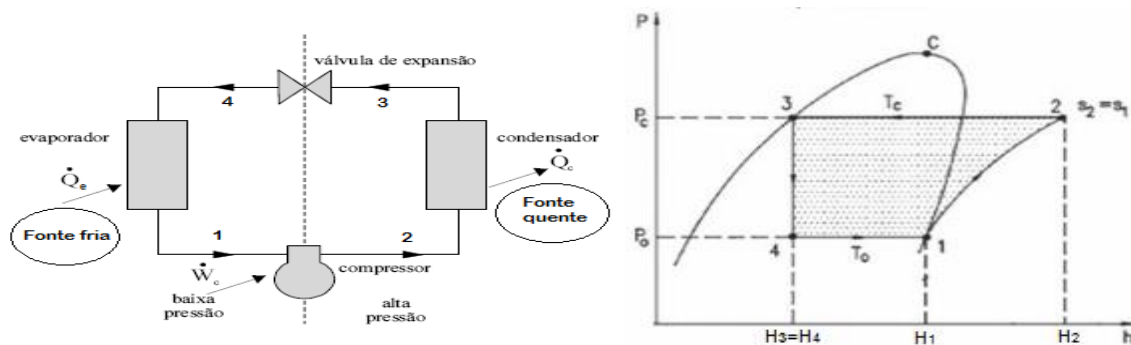


Figura 11- Sistema de compressão de vapor simples (Adaptado de Dossat, 1980).

Compressão (1-2)

O sistema pode começar a ser explicado pela entrada do fluido refrigerante no compressor, vindo do evaporador, em estado de vapor saturado sendo assim comprimido de forma adiabática, elevando a sua pressão e a sua temperatura e enviado para o condensador. O vapor saturado tem, nesta fase, as condições necessárias de temperatura e pressão para ser condensado através de água.

A potência de compressão (W) pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\dot{W}_c = \dot{m} \times (H_2 - H_1) \quad (24)$$

O compressor separa a zona de pressão baixa da zona de pressão alta, comprimindo o vapor.

Condensação (2-3)

É a etapa onde ocorre um arrefecimento num permutador de calor, através da rejeição de calor, o vapor perde calor para o meio (ar ou água). O fluido refrigerante entra no condensador como

vapor sobreaquecido onde é realizada a dissipação de calor isotérmica até atingir o estado de líquido saturado.

A condensação existente afirma-se isobárica pelo facto de, neste processo, a pressão ser constante.

A capacidade de rejeição de calor do condensador pode-se exprimir-se através da seguinte equação:

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \times (H_2 - H_3) \quad (25)$$

O condensador encontra-se a alta pressão e temperatura.

Expansão (3-4)

A expansão é o processo seguinte e dá-se seguido da condensação, o fluido segue para uma válvula de expansão onde é submetido a uma queda brusca de pressão, onde passa a ter dois estados, o líquido e o gasoso. A expansão é considerado um processo isentálpico, que regula a admissão de fluido ao evaporador no estado pretendido para a entrada no evaporador.

$$H_3 = H_4 \quad (26)$$

A válvula de expansão permite a expansão do líquido, que ao arrefecer, sofre simultaneamente uma evaporação parcial.

Evaporação (4-1)

O fluido frigorígeno, no estado líquido, é então conduzido pelo evaporador, onde absorverá o calor do ambiente a ser refrigerado, ocorrendo a sua vaporização. A capacidade de refrigeração é dada por:

$$\dot{Q}_e = \dot{m} \times (H_1 - H_4) \quad (27)$$

O evaporador encontra-se a baixa pressão e temperatura, e este é o responsável pela dissipação do calor proveniente dos produtos hortofrutícolas.

Assim sendo, e com esta pequena introdução teórica sobre o ciclo de compressão simples, é possível fazer um cálculo teórico da potência mínima que o compressor da unidade de refrigeração terá de ter para efetuar a refrigeração do sistema, bem como o seu coeficiente de desempenho.

Neste cálculo serão arbitrados valores para a temperatura de funcionamento do condensador e do evaporador e o cálculo será dividido em vários passos.

3.3.2.1 Cálculo teórico da potência mínima dos equipamentos a utilizar na unidade

1º) Calcular a potência do evaporador sabendo a carga térmica respetiva ao dimensionamento.

$$Q_e = Q_{\text{sistema}} \quad (28)$$

Em que:

- Q_e – Potência do evaporador (kW)
- Q_{sistema} – Carga térmica correspondente à unidade de refrigeração (kW)

$$Q_e = 775,03 \text{ W} = 0,77503 \text{ kW}$$

2º) É necessário determinar os valores de entalpia do ciclo saturado simples, de forma a desenhar este ciclo no diagrama entálpico, considerando-se:

- A temperatura do meio é de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, como anteriormente referido e entra no evaporador a uma temperatura de $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja:

$$T_{\text{evaporador}} = T_{\text{ambiente}} - 10 \quad (29)$$

$$T_{\text{evaporador}} = -1 - 10 \Leftrightarrow T_{\text{evaporador}} = -11^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{\text{evaporador}} = -11 + 273 \Leftrightarrow T_{\text{evaporador}} = 262\text{ K}$$

- Assume-se uma temperatura para o condensador de $40\text{ }^{\circ}\text{C} = 313\text{ K}$

$$T_{\text{condensador}} = 40 + 273 = 313\text{ K}$$

- A laminagem é um processo isentálpico e a compressão é um processo isentrópico;
- $Q_e = 0,77503\text{ kW}$;
- O sistema irá utilizar com fluido frigorigénio o R404a.

Usando estes dados, foi procedida a elaboração do diagrama entálpico presente no anexo 2, figura 30. Do mesmo, foram retirados os seguintes valores:

- $H_1 = 260\text{ kJ.kg}^{-1}$
- $H_2 = 360\text{ kJ.kg}^{-1}$
- $H_3 = 395\text{ kJ.kg}^{-1}$

3º) A partir do cálculo do calor a retirar pelo evaporador calcular o caudal mássico a refrigerar.

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{H_2 - H_1} \quad (30)$$

Em que:

\dot{m} – Caudal mássico (kg.s^{-1})

Q_e – Potência do evaporador (kW)

H_1, H_2 – Entalpia (kJ.kg^{-1})

$$\dot{m} = \frac{0,77503}{360 - 260} \Leftrightarrow \dot{m} = 0,00775\text{ kg.s}^{-1}$$

4º) Calcular a potência do compressor

$$Q_c = \dot{m} \cdot (H_3 - H_2) \quad (31)$$

Em que:

\dot{m} – Caudal mássico (kg.s^{-1})

Q_c – Potência do compressor (kW)

H_2, H_3 – Entalpia (kJ.kg^{-1})

$$Q_c = (0,00775) \times (395 - 360) \Leftrightarrow Q_c = 0,271\text{ kW} = 271\text{ W}$$

5º) Saber qual a potência efetiva do compressor, considerando que tem uma eficiência de 80%, normalmente a eficiência nunca é a máxima e existem sempre perdas e falhas do sistema.

$$Q_{ceff} = \frac{Q_c}{0,80} \quad (32)$$

Em que:

Q_{ceff} – Potência efectiva do compressor (kW)

Q_c – Potência do compressor (kW)

$$Q_{ceff} = 0,271 \times 0,80 \Leftrightarrow Q_{ceff} = 0,217 \text{ kW} = 217 \text{ W}$$

6º) Calcular o coeficiente de desempenho do sistema

$$COP = \frac{H_2 - H_1}{H_3 - H_2} \quad (33)$$

Em que:

COP – Coeficiente de desempenho do sistema (adimensional)

H_1, H_2, H_3 – Entalpia (kJ.kg⁻¹)

$$COP = \frac{360 - 260}{395 - 360} \Leftrightarrow COP = 2,86$$

3.3.2.2 Componentes do sistema de frio

Depois de calculado um valor mínimo teórico para a potência do sistema de frio necessária para efetuar a refrigeração dos produtos, foi procurado no mercado uma opção viável para a construção. Como será constatado posteriormente o sistema instalado foi um pouco sobredimensionado tendo uma capacidade de refrigeração algo superior ao necessário, mas foi assim construído de forma a garantir estabilidade no seu funcionamento e posteriormente, no futuro, ser possível trabalhar com outras condições e tipos de hortofrutícolas diferentes, tendo em conta os testes que se queiram realizar.

Os vários componentes que formam do ciclo poderiam ter sido adquiridos separadamente, mas neste caso, foi opção uma unidade de refrigeração da *Embraco*, que contém os vários constituintes do sistema de frio. A escolha recaiu sobre esta unidade uma vez que como já referido, para o transporte será mais prático o equipamento estar integrado na estrutura metálica construída.

3.3.2.2.1 Unidade de refrigeração

Na figura seguinte vêm representada a forma como a *Embraco* auxilia os seus clientes na escolha dos seus produtos.

Embraco

Compressor and Condensing Unit Nomenclature

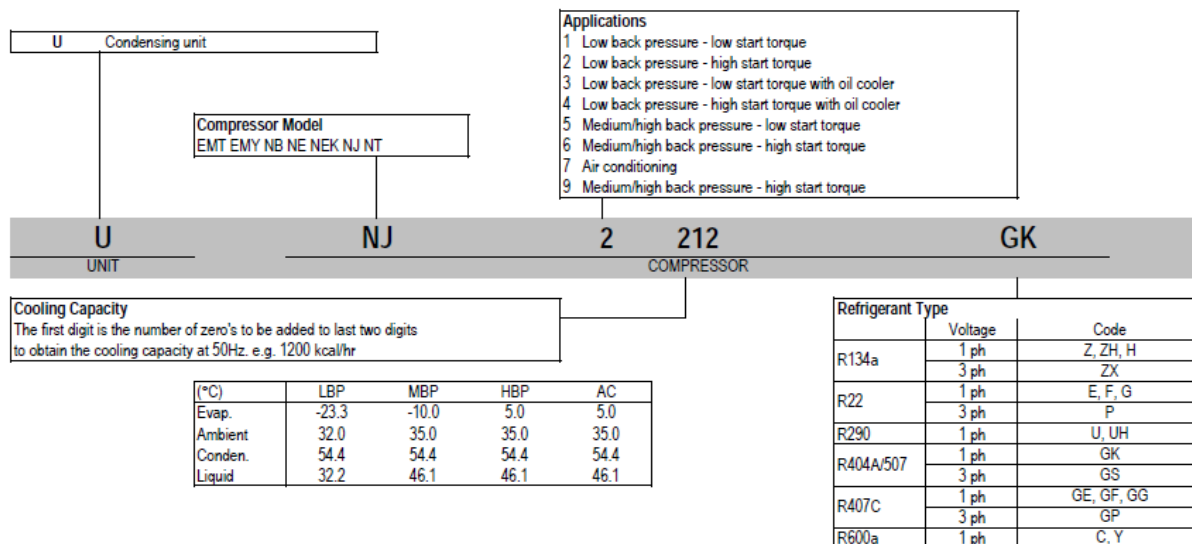


Figura 12- Figura presente no catálogo da Embraco para auxílio dos clientes (Europe Commercial Product line- embraco).

Através desta brochura, o fabricante comunica as características dos seus equipamentos a futuros clientes. Este afirma que os seus equipamentos são de alta eficiência, tendo o compressor baixo ruído, o condensador ser em serpentina de tubo de cobre em todos os modelos e estas unidades são de pequenas dimensões, permitindo uma montagem em locais pequenos, o que é o caso da nossa unidade experimental. Já os materiais utilizados na fabricação são resistentes à corrosão.

Assim a unidade que foi escolhida foi o modelo UNT6226GK e recorrendo à figura anterior é possível retirar a informação sobre a mesma, através das instruções dadas pelas letras e números do modelo. Trata-se então de uma unidade de condensação (U) com um compressor de modelo (NT) com média / alta pressão de retorno e um alto torque de iniciação (6). O compressor é do modelo (226), ou seja pela explicação dada pelo fabricante tem uma capacidade de refrigeração de 2600 W a 50 Hz. O fluido frigorigénio utilizado na unidade é o R404a (GK).

Quadro 13- Informações gerais da unidade de refrigeração

(<https://www.hrponline.co.uk/hrp.static/docs/refrigerationcatalogue/Section%2010.pdf>).

Especificações		Equipamento					
Marca	Embraco						
Modelo	UNT6226GK						
Peso	35,4 kg						
Peso do compressor	17,5 kg						
Refrigerante	R404a						
Motor do compressor	M/HBP- medium/ high back pressure- CSR- Capacitive start and run						
Voltagem e frequência	A (220/240 V- 50 HZ)						
Capacidade de refrigeração	2600 W						
Volume do êmbolo (displacement)	20 cm³						
Fases (HP)	1+						
Performance / temperatura de evaporação °C - EN13215: Ambient 32°C (90°F) Return gas 20°C or Superheating 10K.	-20	-15	-10	-5	0	5	10
	W	W	W	W	W	W	W
	1091	1391	1706	2048	2414	2808	3210
Volume a receber (L)	2,3						
FAN (evaporador e ventilador)	O.D		Nº de ângulos e laminas		Taxa de fluxo de ar		
	mm				m³.h ⁻¹		
	300		5/28°		700		
Condensador	Nº de linhas			Nº de tubagens			
	3			14			
Válvulas e tubagens	Sucção			Líquido			
	cm			mm			
	1,27			0,95			

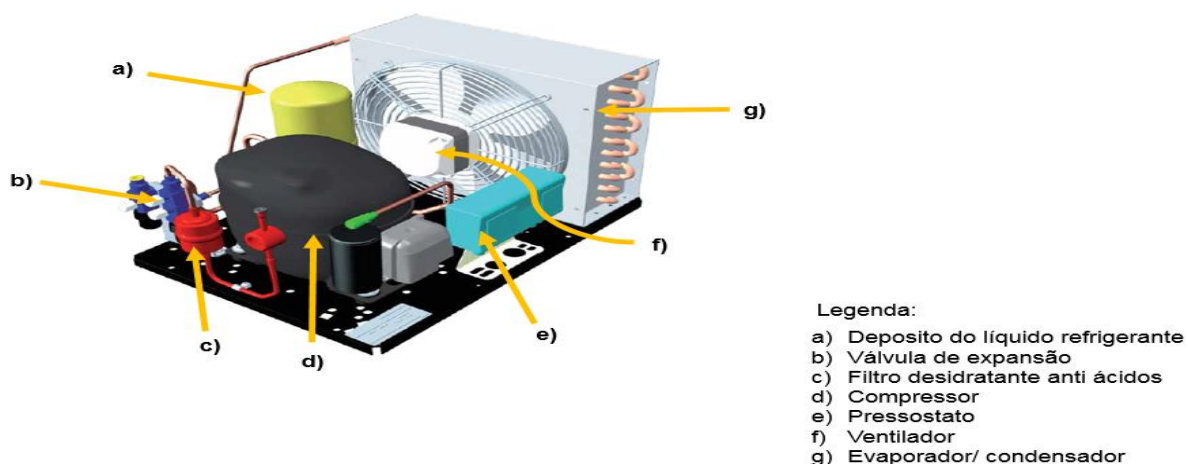


Figura 13- Representação esquemática da unidade condensadora a ser instalada.

Realizada uma descrição sumária do sistema que irá efetuar a refrigeração da unidade experimental e algumas das suas especificações, será agora detalhado de uma forma um pouco mais pormenorizada os vários componentes que integram a mesma.

Compressor

O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração, a sua função é aumentar a pressão do fluido frigorígeno promovendo a sua circulação no sistema, sendo um componente essencial (Pirani, 2005).

As características do compressor instalado serão especificadas seguidamente, apesar de estas serem depois algo diferente quando o mesmo é integrado na unidade de refrigeração.

Quadro 14- Especificações técnicas do compressor que equipa a unidade de refrigeração
(http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/NAR_Catalog_2013.pdf).

Especificações	Equipamento
Marca	Embraco
Modelo	NT6226GK
Voltagem e frequência	220-240 V / 50 Hz
Motor do compressor e consumo de energia	M/HBP- medium/ high back pressure- CSR- Capacitive start and run- (+/- 1100 W)
Peso (kg)	17,5

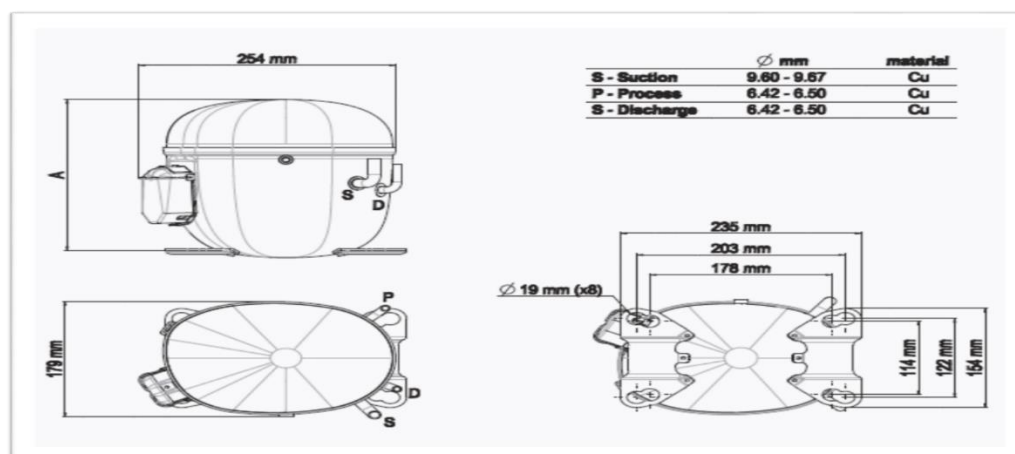


Figura 14- Representação externa do compressor instalado
(http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/NAR_Catalog_2013.pdf).

Condensador

No condensador, o vapor do fluido frigorígeno entra sobreaquecido e verifica-se um arrefecimento sensível. Quando atinge o início da condensação, a fração de líquido e vapor no escoamento varia ao longo do condensador até sair completamente no estado líquido.

Um condensador realiza a transferência de calor em três fases, o arrefecimento sensível do fluido sobreaquecido, a transferência de calor latente na fase de condensação e o subarrefecimento do líquido.

A condensação, é assim o processo dominante em aplicações de refrigeração, correspondendo a grande parte da rejeição de calor e os meios de arrefecimento mais comuns são o ar e água.

O condensador utilizado é da marca Karyer, auxiliado por um ventilador instalado no sistema, da marca *ebmpapst*.

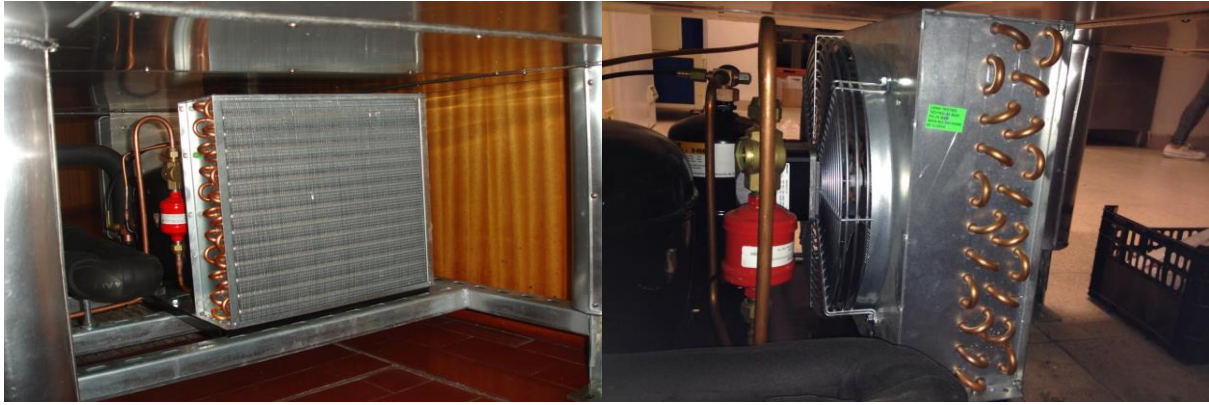


Figura 15- Imagens do condensador instalado na unidade

Evaporador

O evaporador é outro dos componentes principais de um sistema de refrigeração e tem a finalidade de retirar calor do meio a ser arrefecido, isto é, extrair calor do ar, água ou outras substâncias. É a parte do sistema de refrigeração onde o fluido frigorigénio absorve o calor a temperatura constante, por absorção do seu calor latente de evaporação sofre uma mudança de estado, passando da fase líquida para a fase de vapor (Junior, 2005).

Embora o evaporador seja, por exemplo no nosso sistema, um equipamento muito simples, é uma parte importante do sistema. Uma vez que um sistema de refrigeração é projetado, instalado e em operação tem um único objetivo, remover calor. Como esse calor tem que ser absorvido pelo fluido frigorigénio, no evaporador, a eficiência do sistema depende do projeto e do funcionamento adequado do mesmo, assim as tubagens, em serpentina, instaladas no interior do equipamento devem assegurar esse bom funcionamento.



Figura 16- Tubagens em serpentina no interior do equipamento

Válvula de expansão

O dispositivo de expansão tem como finalidade dois grandes objetivos gerais:

- Reduzir a pressão do fluido frigorigénio no estado líquido;
- Regular o caudal de fluido frigorigénio que entra no evaporador.

O compressor e o dispositivo de expansão devem funcionar em equilíbrio entre a admissão e a descarga, de forma que o compressor comprima o caudal que deixa o evaporador. Uma condição de fluxo desequilibrado entre estes componentes é indesejável e deve ter uma duração bastante reduzida. O funcionamento prolongado em desequilíbrio poderá originar um sobreaquecimento excessivo, significando que grande parte da superfície da serpentina do evaporador estará a ser

utilizada para sobreaquecer o fluido frigorígeno, o que diminui a sua capacidade e eficiência. Um sobreaquecimento muito baixo pode ser perigoso, pois há o risco de admissão de líquido pelo compressor (Pirani, 2005). Sobre a válvula de expansão não foi possível recolher informações do fabricante.

Fluido frigorígeno (R404a)

O fluido frigorígeno é o elemento de transporte de energia num sistema frigorífico, cujas características termodinâmicas permitem através de fenómenos de mudança de estado, evaporação e condensação, absorver calor a baixas temperaturas e pressões e a perder ou permutar calor a altas temperaturas e pressões.

No nosso sistema o fluido utilizado foi o R404a e de seguida serão mencionadas algumas características do mesmo, bem como do reservatório que o armazena, sendo que o R404a é um gás não inflamável e não tóxico.

Quadro 15- Composição/ informação sobre os componentes constituintes do R404a (<http://www.airliquide.pt/pt/produtos-e-servicos/fichas-de-seguranca/fichas-de-seguranca-de-misturas.html#.VYkMDPm4Rps>).

Nome do componente	Conteúdo
Pentafluoretano	44%
1,1,1,2-Tetrafluoretano (R 134a)	4%
Trifluoretano (R143a)	52%

Quadro 16- Propriedades do R404a (<http://www.airliquide.pt/pt/produtos-e-servicos/fichas-de-seguranca/fichas-de-seguranca-de-misturas.html#.VYkMDPm4Rps>).

Propriedades	R404A
Peso molecular (kg.kmol ⁻¹)	97,61
Temperatura de ebulição a 1,013 bar ou 101299,99 Pa (°C)	-46,7
Temperatura crítica (°C)	73
Pressão crítica (bar ou Pa)	37,35 ou 3735000
Densidade crítica (Kg.m ⁻³)	484
Densidade do líquido a 25°C (Kg.m ⁻³)	1048
Densidade do vapor a 1,013 bar ou 101299,99 Pa (Kg.m ⁻³)	5,41
Tensão de vapor a 25 °C (bar ou Pa)	12,8 ou 1280000
Tensão de vapor a -25 °C (bar ou Pa)	2,8 ou 280000
Calor latente de evaporação (kJ.kg ⁻¹)	199
Condutividade térmica do líquido (W.mK ⁻¹)	0,064

- Propriedades físicas e químicas:
 - Estado físico a 20 °C: Gás liquefeito.
 - Cor: Gás incolor.
 - Cheiro: Inodoro.
 - Densidade relativa, gás ($\rho_r=1$): Mais pesado que o ar.
 - Outros dados: Gás ou vapor mais pesado que o ar. Pode acumular-se em espaços confinados, em especial ao nível ou abaixo do solo.
- Estabilidade e reatividade
 - Estabilidade e Reatividade: Estável em condições normais
 - Produtos perigosos: Dependendo das condições do processo, podem ser gerados produtos perigosos decomposição na decomposição. Monóxido de carbono. Dióxido de carbono. Cloreto de hidrogénio. Fluoreto de hidrogénio.
 - Materiais a evitar: Aços não resistentes a baixas temperaturas. Metais.
 - Condições a evitar: Proteja das temperaturas baixas.
 - Perigos: risco de asfixia em altas concentrações. Gás liquefeito.

O fluido devido às propriedades anteriormente enunciadas e sua utilização, necessita de um reservatório próprio e capaz de garantir o bom funcionamento do sistema, evitando fugas do mesmo, proporcionando condições de segurança. Uma vez utilizadas pressões diferenciadas o reservatório terá de conter características específicas para esta utilização.

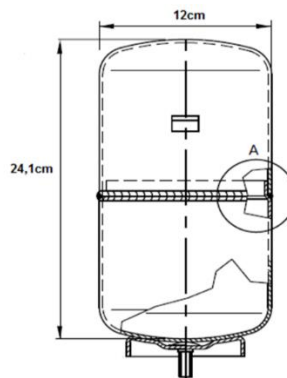


Figura 17- Representação do reservatório

(retirado do catalogo http://www.frigomec.com/uploads/catalogo_generale_0912.pdf).

Pressostato

Um pressostato é um dispositivo de medição de pressão utilizado como componente do sistema de proteção do equipamento. A sua função é perceber alterações de pressão e dar uma resposta específica nesta situação, evitando assim problemas para a unidade. Ou seja, o pressostato tem como função proporcionar proteção contra pressão de sucção excessivamente baixa ou pressão de descarga excessivamente alta. Nesta unidade o pressostato utilizado foi o modelo KP 15 da marca Danfoss e de seguidas serão enunciadas as suas principais características.

Quadro 17- Características gerais do pressostato (<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/8BD970F3-F67A-465F-8814-6C9EAE3397D2/0/Pressos.pdf>).

Características	Pressostato Modelo KP 15
Materiais constituintes	Cobre e aço
Temperatura ambiente	-40°C a +65 °C (80 °C por, no máximo 2 horas)
Baixa pressão	Faixa de regulação: -0,2-7,5 bar
	Diferencial (Δp): 0,7
Alta pressão	Faixa de regulação: 8-32
	Diferencial (Δp): 4
Máximo de pressão de trabalho	Baixa pressão: PS/MWP = 17bar
	Alta pressão: PS/MWO = 35bar
	KP 6X: PS/MWP = 46,5bar

KP 15

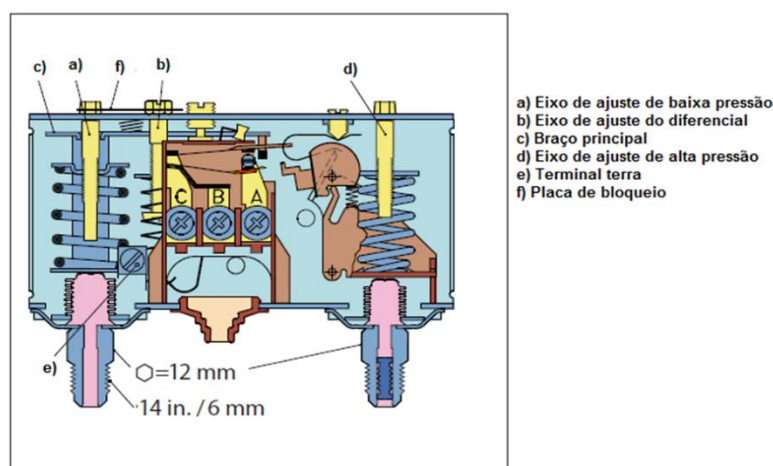


Figura 18- Esquema do interior do pressostato (<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/8BD970F3-F67A-465F-8814-6C9EAE3397D2/0/Pressos.pdf>).

Filtro desidratante anti ácidos

O filtro desidratante é um elemento fundamental para a confiabilidade e durabilidade de um sistema de refrigeração. O objetivo da sua utilização é garantir a retenção de possíveis resíduos oriundos da instalação ou de quebra dos componentes do sistema, absorvendo assim a humidade que pode formar durante a instalação ou funcionamento do sistema, prevenindo também a formação de ácido a partir da água, óleo, refrigerante ou de altas temperaturas. O filtro apresenta um núcleo sólido que lhe permite absorver água e ácido de forma mais efetiva, um fluxo mais elevado e uma baixa queda de pressão, podendo melhorar a segurança e minimizar os custos com manutenção.

Quadro 18- Características do filtro desidratante anti-ácidos instalado na unidade de refrigeração (<http://pdf.directindustry.es/pdf/carly/filtros-secadores-antiacidos/17640-121563.html>).

Características	Equipamento
Marca	Carly
Modelo	DCY 053
Aplicações	Função de filtração, desidratação e neutralização dos ácidos que atravessam as tubagens em instalações de refrigeração
Capacidade de fluido desidratado (24 °C e 52 °C)	9,5 e 8,0 Kg de refrigerante
Pressão de serviço máxima	46 bar
Pressão de serviço	15 bar
Temperatura de serviço mínima	-40 °C
Temperatura de serviço	-30 °C

3.3.3 Sistema de circulação da solução

Sistema e Bomba para circulação da solução

Este equipamento é provavelmente uma das peças-chave deste sistema de refrigeração, ou seja, apesar de a sua introdução ser opcional num sistema de refrigeração habitual, optou-se por fazer a refrigeração do espaço através da transferência de energia utilizando uma solução de água-glicol (10% de glicol) como meio e assim são necessárias algumas especificações no equipamento. A introdução deste sistema permite que a solução circule por todo o equipamento, existindo tubagens no interior da área útil que de um lado asperge e do outro recolhe a solução.



Figura 19- Imagens reais do sistema de circulação de água instalado no interior do equipamento (a legenda introduzida é explicada de seguida na presente dissertação).

Este sistema é portanto a realidade que foi criada para equipamento dimensionado e a ideia foi conceber um sistema de homogeneização da solução em toda a área útil. Através da legenda da figura 19 é possível fazer uma breve explicação do sistema utilizado. A solução é admitida ao equipamento pela tubagem e) vindo impulsionada da bomba de circulação, com um fluxo constante, fazendo o trajeto indicado pela seta b), saindo por furos colocados na tubagem a). Depois a solução percorre o equipamento para o lado contrário, tudo fruto do caudal criado pela bomba de circulação (que não deixa que haja refluxo de água em sentido contrário) e é recolhido na tubagem d) e volta novamente à bomba, para ser novamente bombeada para o equipamento e assim sucessivamente.

Na imagem aparece uma tubagem legendada com a letra c), a mesma corresponde ainda ao sistema de frio instalado e é através desta que é admitido o fluido às tubagens que estão no centro do equipamento, para ser feita a refrigeração da solução que está presente e em circulação na área útil.

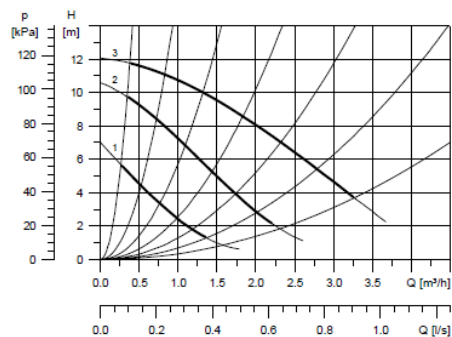
Este trabalho é realizado com a utilização de uma bomba de circulação que faz este sistema funcionar e a bomba utilizada é adequada para a circulação do líquido de arrefecimento e em sistemas de ar condicionado, sendo as gamas de temperatura de -25 °C a 95 °C, sendo assim adequada para circulação de água fria e quente.

A bomba utilizada é caracterizada por ser monofásica de 3 velocidades, tendo um rotor encapsulado, um eixo de cerâmica e um rolamento radial, um rolamento de pressão de carbono e um rotor de aço inoxidável resistente à corrosão. O corpo da bomba é fabricado em ferro ou aço inoxidável, tendo também componentes resistentes ao glicol.

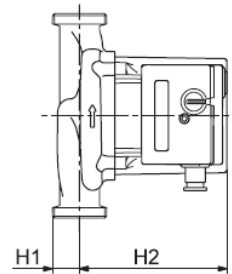
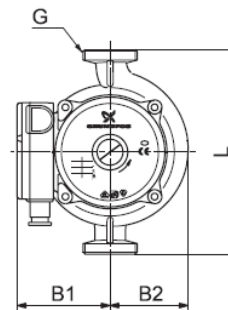
UPS 25-120

180

1 x 230 V, 50 Hz



TM02 2205 3901



TM02 1329 2105

Speed	P ₁ [W]	I _n [A]
3	235	1.02
2	180	0.78
1	120	0.53

Connections: 3/4" unions and valves
 System pressure: Max. 10 bar
 Liquid temperature: -25°C to +95°C (TF 110)
 Energy class: F

Pump type	Dimensions [mm]						Weights [kg]		Ship. vol. [m³]
	L	H1	H2	B1	B2	G	Net	Gross	
UPS 25-120	180	32	130	82	69	1½	4.4	4.6	0.006

Figura 20- Dados referentes à bomba de circulação instalada (retirado de Grundfos data booklet).

A figura 20 tem uma descrição breve da bomba de circulação, suas dimensões e características, de realçar que a pressão para a velocidade máxima que se poderá trabalhar é de 120 kPa. E da interpretação do gráfico pode se verificado que quando maior for o caudal de circulação, maior será a velocidade a utilizar, a pressão do sistema e a potência gasta na operação.

A velocidade escolhida para o funcionamento da mesma, está relacionada com as condicionantes do sistema utilizado, mas também foi pensada para uma velocidade de circulação baixa, ou seja, é necessário haver a suficiente para uma homogeneização da temperatura da solução em todo o equipamento, mas ao mesmo tempo não é pretendido haver uma turbulência dentro da área útil, capaz de criar diferenciais de temperatura e influenciar os testes. Para aferir de um modo empírico o real caudal de circulação realizou-se um pequeno teste, onde se bloqueou uma das saídas de solução e na outra mediu-se o caudal e obteve-se um resultado em torno de 1,8m³.h⁻¹.

Por fim existe incorporado no core do equipamento uma torneira, para facilitação em caso de escoamento da solução para fora do equipamento, utilizada em casos de limpeza ou avaria e também uma válvula que estanca uma possível saída de água da tubagens em caso de excesso de fluxo e assim é mantido o bom funcionamento da instalação.

3.3.4 Central de controlo do equipamento

A central de controlo utilizada no equipamento, foi especialmente construída para o efeito pela *Frincor*, empresa responsável por toda a montagem do sistema de frio, de circulação da solução, bem como do isolamento. Assim, foi construída tendo em conta as variáveis que serão necessárias controlar. Na figura 21, estão imagens reais do equipamento, com a central de comando já ligada e do seu display.



Figura 21- Central de controlo do equipamento dimensionado (Imagem 1- Central de controlo completa; Imagem2- display de controlo de temperatura, imagem3- luzes e interruptor de funcionamento da unidade).

Relativamente a esta central de controlo, começando pelo display de controlo de temperatura, imagem 2 da figura 21, é possível perceber que existe um mostrador (a) que indica a temperatura a que se encontra a solução no interior da área útil, uma vez que existe um sensor no interior desse espaço a medir a temperatura ao instante. Depois existe 4 comandos, ou seja as teclas. A tecla b) é onde é possível programar a temperatura desejada que se quer atingir, as teclas c) e d) são as utilizadas para a escolha da temperatura, sendo que a d) aumenta e a c) diminui a temperatura. Já a tecla e) é onde é possível consultar qual a temperatura programada e não a que está a ser medida naquele exato momento.

Na central de comando o operador tem a possibilidade de controlar algumas das variáveis do processo. Na imagem 3, é possível verificar que existe um interruptor que aciona a bomba e o compressor da unidade de frio, representado pela letra j), este interruptor tem 3 opções:

- 0 onde o equipamento está em *standby*;
- B onde apenas se coloca a bomba em marcha;

- B+C onde se coloca em marcha a bomba e o compressor.

As luzes representadas pelas letra f) e h) indicam a marcha tanto do compressor como da bomba de circulação, respetivamente, já as luzes g) e i) assinalam uma possível avaria no compressor ou na bomba, respetivamente.

3.3.5 Representação esquemática do equipamento

Feita a descrição pormenorizada de cada elemento que constitui o equipamento, desde os frascos onde será colocados os hortofrutícolas, até à central de comando do equipamento, em jeito de resumo deste capítulo foi possível fazer um esboço da idealização do equipamento, que levou posteriormente há sua construção e ao resultado final obtido.

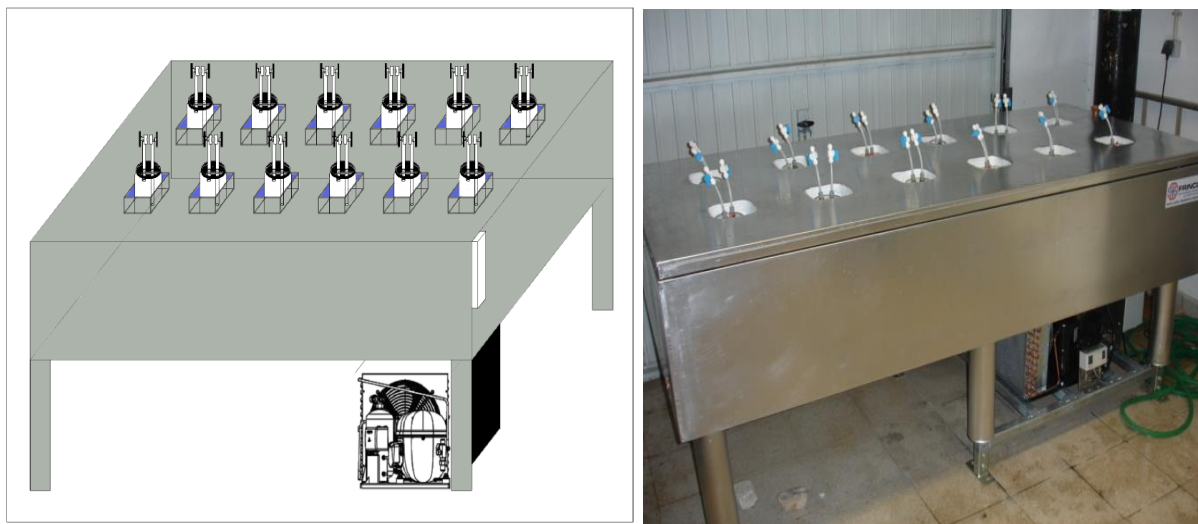


Figura 22- Do lado esquerdo a representação possível e final do equipamento a ser dimensionado e do lado direito o equipamento experimental criado.

Realizado o dimensionamento, caracterização e construção do equipamento, o passo seguinte foi a realização de testes ao mesmo. Para o efeito, será enunciado um procedimento de como os trabalhos decorreram e posteriormente os resultados obtidos e sua discussão e conclusão.

4 METODOLOGIA DOS TESTES AO EQUIPAMENTO

4.1 Avaliação do equipamento com metade da capacidade

4.1.1 Objetivo:

O objetivo da atividade experimental é perceber, depois de dimensionado e construído o equipamento, se este confere a capacidade de fazer a refrigeração da solução de água glicolada onde serão posteriormente colocados os frascos com os produtos hortofrutícolas. Este teste é importante, uma vez que a construção foi realizada e idealizada de forma a ser possível a refrigeração da solução e sua uniformização por todo o sistema.

Este é o teste base ao equipamento, os objetivos gerais passam por verificar a estanqueidade do equipamento, a capacidade de refrigeração da solução por parte do sistema montado e a capacidade que a bomba de circulação tem para criar um fluxo suficientemente grande para uniformizar a solução na área útil.

4.1.2 Materiais:

- Equipamento experimental composto pelos seguintes itens: tanque com isolamento térmico e sistema de refrigeração;
- Frascos selados com volume de $0,00215 \text{ m}^3$;
- Termómetros de precisão;
- Recipiente de $0,02 \text{ m}^3$;
- Solução de água glicolada (10% glicol).

4.1.3 Procedimento:

1. Realizar o enchimento do tanque com a solução, procedido de forma faseada, ou seja, utilizando um recipiente de $0,02 \text{ m}^3$. Assim é possível o controlo da quantidade de solução a ser colocada de cada vez;
2. Utilizar cerca de $0,250$ a $0,270 \text{ m}^3$ de solução de água glicolada a 10%, para encher o a área do equipamento até cerca de metade;
3. Efetuar a verificação da estanqueidade do equipamento;
4. Introduzir os frascos vazios nos 12 orifícios;
5. Ligar apenas a bomba de circulação de água no interruptor cerca de 5 minutos para haver uma primeira circulação da solução nas tubagens sem esta esteja a ser refrigerada;
6. Efetuar uma primeira amostragem da temperatura em cada orifício, diretamente na solução, totalizando 12 medições e registar;
7. Programar o *setpoint* para a temperatura que deseja atingir, neste caso $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
8. Ligar o compressor;
9. Efetuar medições nos 12 orifícios de 15 em 15 minutos de forma a registar a evolução da temperatura, até esta estabilizar;
10. Desligar o equipamento.

4.2 Avaliação do equipamento com capacidade total

O objetivo geral deste teste é exatamente o mesmo que o teste anterior, procedendo da mesma forma mas com uma massa de solução duas vezes maior que no primeiro teste e perceber a reação do sistema há mudança de condições no teste.

A metodologia a seguir é a mesma que o teste 4.1, mas diferenciando que serão utilizados cerca de 0,500 a 0,528 m³ de solução a 10% de glicol para encher o equipamento.

4.3 Estabilidade da temperatura no equipamento

4.3.1 Objetivo:

O objetivo deste teste é perceber se o sistema de refrigeração além de efetuar o arrefecimento da solução até cerca de 0 °C, é capaz de manter constante a temperatura num determinado período de tempo. Ao mesmo tempo deve ser verificada a homogeneidade de temperatura nos 12 orifícios, para perceber se o fluxo criado pela circulação de água terá alguma influência em futuros testes.

4.3.2 Materiais:

Equipamento experimental dimensionado composto pelos seguintes itens:

- Tanque com isolamento térmico e sistema de refrigeração;
- Frascos selados com volume 0,00215 m³;
- Termómetros de precisão;
- Solução de água glicolada (10% glicol).

4.3.3 Procedimento:

1. A primeira operação passa por verificar se o equipamento contem cerca de 0,500 a 0,528 m³ de solução a 10% de glicol na área útil;
2. Introduzir os frascos vazios nos 12 orifícios;
3. Ligar apenas a bomba de circulação de água no interruptor cerca de 5 minutos para haver uma primeira circulação da solução nas tubagens sem esta estar a ser refrigerada;
4. Programar o *setpoint* para a temperatura que deseja atingir, 0 °C;
5. Ligar o compressor;
6. Ir verificando a temperatura durante um período de tempo, até que a temperatura fique estável em torno dos 0 °C;
7. Depois de estável a temperatura, efetuar medições nos 12 orifícios às 2,4,6,8,10,12,24,26,28,30,32,34,36 e 48 horas e registar;
8. Desligar o equipamento.

4.4 Avaliação da taxa e uniformidade de arrefecimento de produtos hortofrutícolas

4.4.1 Objetivo:

Ou seja depois de aferido nos testes anteriores a capacidade do sistema instalado em criar condições para refrigerar a solução de água e glicol, é necessário perceber se este é capaz de transferir essa capacidade para os hortofrutícolas e efetuar a sua refrigeração. Ou seja, é necessário perceber se o sistema consegue retirar calor aos hortofrutícolas escolhidos para o teste, e no futuro ser utilizado como uma ferramenta para a realização de testes com vista a otimização de temperaturas de refrigeração na pós-colheita de hortofrutícolas.

Neste teste é necessário ter em consideração que se trata de organismos vivos o alvo do estudo, estes continuam a efetuar a sua respiração e todos os seus processos fisiológicos pós-colheita.

Para o estudo foram escolhidos três hortofrutícolas distintos. Foi realizada não apenas a escolha de frutos, mas também de um hortícola, por todas as suas diferentes características.

4.4.2 Materiais

Equipamento experimental dimensionado composto pelos seguintes itens:

- Tanque com isolamento térmico e sistema de refrigeração;
- Frascos selados com volume 0,00215 m³;
- Termómetros de precisão;
- Solução de água glicolada (10% glicol)

Hortofrutícolas:

- Pera: As peras da espécie *Pyrus Communis L.*, da variedade rocha, calibre 55/60 e categoria II, foram obtidos num mercado local no dia de realização dos ensaios e imediatamente transportados para o laboratório. Os frutos foram escolhidos, retirando-se todas as peras com sinais visíveis de podridão ou de qualquer outro defeito físico.
- Batata: As batatas, da variedade Maris Peer, foram adquiridas num supermercado no dia de realização dos ensaios e imediatamente transportados para o laboratório. Ficando à temperatura ambiente até há realização do teste.
- Morango: Os morangos são da cultivar Camarosa como cerca de 30 mm de diâmetro, estes foram obtidos diretamente do produtor. Os morangos pré-arrefecidos foram transportados para o laboratório, na seleção houve o cuidado de escolher frutos uniformes em grau de maturação, dimensão e cor.

4.4.3 Procedimento:

1. A primeira operação passa por verificar se o equipamento contem cerca de 0,500 a 0,528 m³ de solução água glicolada na área útil;
2. Introduzir os frascos vazios nos 12 orifícios;
3. Ligar apenas a bomba de circulação de água no interruptor cerca de 5 minutos para haver uma primeira circulação da solução nas tubagens sem esta estar a ser refrigerada;

4. Programar o *setpoint* para a temperatura que deseja atingir, 0 °C;
5. Ligar o compressor;
6. Pesar e medir a temperatura por perfuração em 3 pontos na amostra de hortofrutícolas, antes de os introduzir no equipamento, utilizando o termómetro;
7. Colocar os 12 frascos no equipamento, sendo que apenas 6 irão conter hortofrutícolas, sendo dispostos no equipamento de forma a retirar uma amostra representativa de toda a área interna;

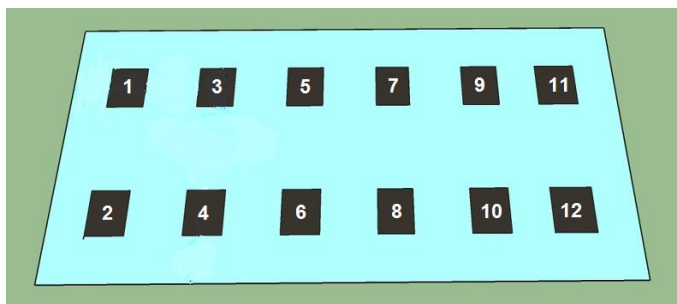


Figura 23- Representação esquemática dos orifícios que constituem o equipamento

Ou seja, na figura 23 é possível ter uma visão dos orifícios do equipamento e os frascos com hortofrutícolas no seu interior serão colocados nos números 1, 2, 5, 8, 11 e 12;

8. Efetuar medições de perfuração no hortofrutícola com o termómetro de precisão, em 3 pontos por cada frasco, com intervalos de 30 a 45 minutos e efetuar uma última 24 horas* depois. Registrar as medições;
9. Desligar o equipamento;

Nota:

*No caso da batata foi realizado o teste até às 72 horas, prolongando-o para aferir a manutenção de temperatura ao fim desse período.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comparação dos resultados do equipamento com metade e capacidade total

Estes testes tiveram como objetivo, três funções muito básicas, a primeira era perceber a estanqueidade do *core* do equipamento, o segundo era um estudo da capacidade de arrefecimento e posterior estabilização da temperatura na solução e por fim o terceiro objetivo era perceber se a temperatura depois de estabilizada se mantinha constante e uniforme nos 12 orifícios onde é possível colocar produto a arrefecer.

O primeiro objetivo para ser atingido para ambos os casos e procedendo ao enchimento faseado da área útil foi feita uma vistoria se tudo estava conforme, até totalizar o volume pretendido. Verificou-se que o equipamento, até ao limite de enchimento estabelecido, era completamente estanque, não havendo fugas de solução por nenhum espaço, nos dois testes.

O segundo objetivo foi perceber se o sistema tinha capacidade de diminuir a temperatura da solução até cerca de 0 °C e sua manutenção. Quando cheio com metade da capacidade, é possível verificar que a temperatura tem uma redução gradual e acentuada desde os 18,3 até 0,2 °C, demorando para este efeito cerca de 135 minutos. No segundo teste, com a capacidade total, a descida da temperatura da solução no tanque, de cerca de 19,8 °C até 0,1°C, demorou cerca de 255 minutos, estabilizando em torno dos 0 °C.

Os testes foram realizados nos 12 orifícios e feitas repetições mas estando apenas uma representada no gráfico, não fazendo sentido representar as 12 repetições, uma vez que a temperatura foi igual em todos os orifícios, demonstrando assim que o sistema de circulação é eficaz e não cria diferenciais de temperatura dentro do equipamento.

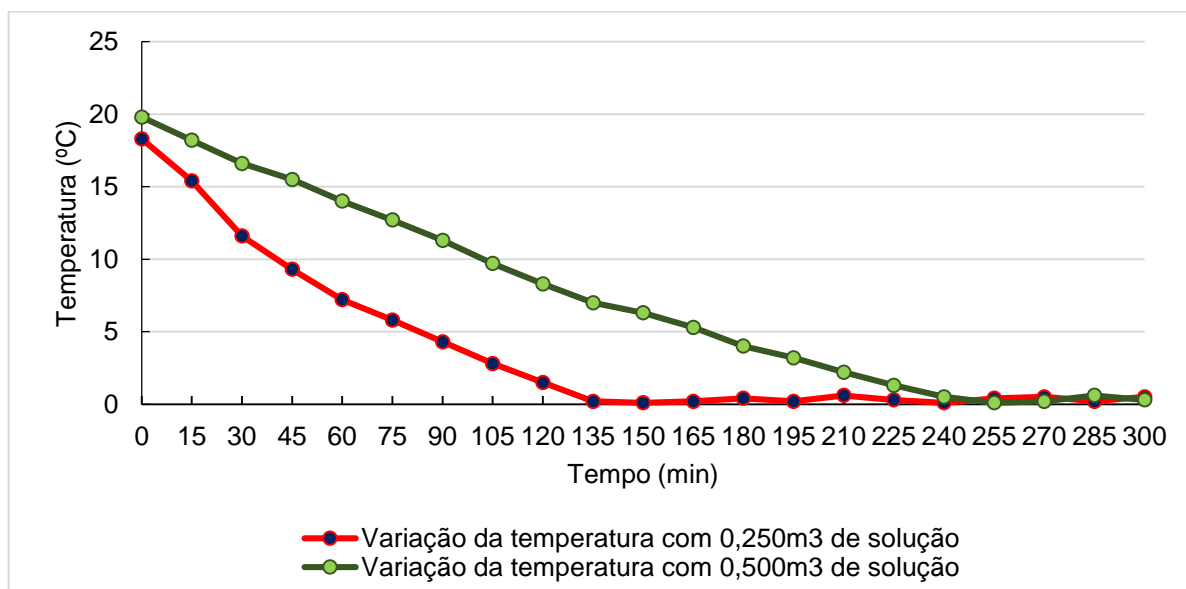


Figura 24- Comparação da evolução da temperatura com 0,250 e 0,500 m³ de solução na área útil.

Da visualização do gráfico de comparação das duas curvas foi possível recolher informações importantes para utilizações futuras do equipamento. Para principiar, há a salientar que a temperatura

inicial era praticamente a mesma e esta não tem uma influência significativa no desenrolar dos resultados.

Da observação das curvas de variação é possível perceber que com 0,250 m³ de solução o sistema leva cerca de metade do tempo a atingir a temperatura de cerca de 0 °C do que com 0,500 m³, sendo a descida mais abrupta neste caso, uma vez que o declive da curva é mais acentuado. Em ambos os casos, a temperatura estabiliza depois de atingir um ponto perto dos 0 °C e varia em torno desse valor.

Com estes testes aferiu-se que o sistema de refrigeração instalado é eficaz e tem potência para atingir a temperatura de 0 °C, como pretendido. Assim a utilização de um ou outro volume de solução pode ser selecionado, por parte do operador, de forma a satisfazer as necessidades dos testes a realizar, porque em ambos os casos os frascos ficam banhados na solução. No caso em que o equipamento tem apenas metade da sua capacidade só parte dos frascos ficam mergulhados, mas com a capacidade total os frascos ficam praticamente na totalidade banhados, sendo a refrigeração mais eficaz. Por esse motivo, nos testes seguintes essa foi a capacidade escolhida.

A bomba também tem um funcionamento adequado, uma vez que mesmo com 0,500 m³ de solução, consegue manter a temperatura uniforme em todos os orifícios com uma boa capacidade de circulação da solução.

5.2 Estabilidade da temperatura no equipamento

Uma vez, que como demonstrado nos resultados anteriores a temperatura atinge os 0 °C, este teste foi pertinente para perceber se existe uma estabilização da temperatura durante várias horas ou qual a variação sofrida, uma vez que o sistema de frio é acionado apenas quando necessário, ou seja dispara o compressor apenas quando a temperatura sobe acima de um determinado valor. O teste foi realizado apenas com 0,500 m³ de solução uma vez que o resultado obtido será suficiente para perceber se o equipamento está no pleno do seu funcionamento. Nos 12 orifícios, onde estão os frascos vazios colocados, é onde se efetua a mediação seguindo o procedimento enunciado e os resultados obtidos estão esquematizados no quadro 19.

Quadro 19- Resultados obtidos no teste 3, para aferir a estabilidade da temperatura no equipamento.

		Temperatura nos frascos (°C)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tempo (em h)	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	10	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	12	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	24	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	26	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	28	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	30	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	32	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	34	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	36	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	48	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Para este teste foi necessário várias horas de estiva da solução em permanente circulação e refrigeração, para se entender realmente se o equipamento estava em pleno funcionamento. É de verificar na tabela anterior que ao fim de 12 horas que a temperatura era de 0,6, às 24 horas de 0,2 e às 48 horas era de 0,3, em todos os orifícios. Demonstrando assim uma estabilidade (com pequenas variações) na circulação da solução por parte da bomba, uma vez que em todos os orifícios registam a mesma temperatura. No mesmo sentido verifica-se a fiabilidade de sistema de frio, que vai sendo acionado quando a temperatura da solução se aproxima de 1 °C e assim mantém sempre a solução em torno de 0 °C. O teste também foi realizado em profundidade, ou seja em algumas medições escolhidas aleatoriamente o termómetro foi mergulhado mais profundamente na solução de forma a recolher uma amostra do fundo da área útil e o resultado obtido foi que não existe variação na temperatura, seja qual for a altura a que se efetua a medição.

5.3 Avaliação da uniformidade do arrefecimento e capacidade de retirar calor aos produtos hortofrutícolas pelo sistema de refrigeração instalado

Este teste é o mais direccionado para a real finalidade deste projeto, o objetivo foi avaliar a capacidade de arrefecimento e manutenção da temperatura dos produtos por parte do sistema de frio instalado. Os testes experimentais foram realizados utilizando pera, batata e morango, nos quais foram registadas as temperaturas por um período de tempo, período esse que não foi previamente estabelecido, sendo esse um objeto de estudo e os testes só foram terminados quando a temperatura, já estável, se encontrava entre 0 e 1 °C.

Antes da realização destes testes e recorrendo às matérias lecionadas durante o curso, foi possível fazer um cálculo teórico do meio-tempo de arrefecimento ($t_{1/2}$), seguido depois do período expectável de refrigeração até atingir a temperatura de cerca de 0 °C. O cálculo será realizado integralmente para a pera e posteriormente, seguindo a mesma metodologia, serão enunciados os resultados obtidos para a batata e o morango.

Para iniciar o cálculo, é necessário alguns dados que foram obtidos na tabela da Composição de Alimentos do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge (INSA, 2007), de modo a caracterizar as matérias-primas selecionadas, a pera, batata e morango e procede-se ao cálculo das suas propriedades termofísicas.

Pera

Através do quadro seguinte e da equação 6, anteriormente descrita, é possível obter o resultado para a pera.

Densidade ou massa específica (kg.m⁻³)

$$\rho = \frac{1}{\frac{0,851}{1000} + \frac{0,004}{850} + \frac{0,145}{1300}} = 1033,87 \text{ kg.m}^{-3}$$

Calor específico do alimento não congelado (J.kg⁻¹.°C⁻¹)

Para este cálculo utilizou-se a equação 20, na qual anteriormente se chegou ao seguinte resultado:

$$c_{\text{eff}} = 4180 \times 0,851 + 1900 \times 0,004 + 1400 \times 0,145 \Leftrightarrow c_{\text{eff}} = 3768 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Condutividade térmica do alimento não congelado (W.m⁻¹.°C⁻¹)

$$k_1 = \rho \left(\frac{A}{1695} + \frac{L}{4722} + \frac{S}{5306} \right) \quad (34)$$

Em que:

- k_1 – Condutividade térmica (W.m⁻¹.°C⁻¹)
- ρ – Densidade (kg.m⁻³)
- A – Fração mássica de água (adimensional)
- L – Fração mássica de lípidos (adimensional)
- S – Fração mássica de sólidos (adimensional)

$$k_1 = 1033,87 \left(\frac{0,851}{1695} + \frac{0,004}{4722} + \frac{0,145}{5306} \right) \Leftrightarrow k_1 = 0,548 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Para efetuar o cálculo da condutividade térmica efetiva é necessário o cálculo da fração volúmica de vazio. Isto porque dentro do frasco haverá um espaço vazio criado propositadamente para a circulação de ar, porque entre os hortofrutícolas e mesmo dentro do próprio hortofrutícola existe ar, ou seja, este volume vazio afeta a velocidade das trocas de calor do alimento com o exterior e o seu efeito pode ser como uma resistência a essa troca. Para isso é necessário saber volume de um frasco, local onde serão colocados os hortofrutícolas, no equipamento. Portanto:

Volume, área e raio de um frasco

O volume do frasco já foi anteriormente referido, uma vez que foi selecionado no mercado, frascos capazes de responder às necessidades do projeto. Assim o volume do frasco é de 0,00215 m³ e a área de 0,0264 m². Já o seu raio é de 0,06 m.

Fração volúmica de vazio (adimensional)

$$\varepsilon = 1 - \frac{m}{\rho \times V} \quad (35)$$

Em que:

- ε – Fração volúmica de vazio (adimensional)
- m – Massa de peras (kg)
- ρ – Densidade (kg.m^{-3})
- V – Volume do frasco (m^3)

Dados: Massa de peras (m) = 0,750 kg e Volume (V) = 0,00215 m^3

$$\varepsilon = 1 - \frac{0,750}{1033,87 \times 0,00215} = 0,66$$

Condutividade térmica efetiva do alimento embalado ($\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)

$$K_{1\text{eff}} = k_1 \left(\frac{2k_1 + 0,03 - 2\varepsilon(k_1 - 0,03)}{2k_1 + 0,03 + \varepsilon(k_1 - 0,03)} \right) \quad (36)$$

Em que:

- $K_{1\text{eff}}$ – Condutividade térmica efetiva ($\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)
- ε – Fração volúmica de vazio (adimensional)
- k_1 – Condutividade térmica (W/m.K)

$$K_{1\text{eff}} = 0,548 \left(\frac{(2 \times 0,548) + 0,03 - ((2 \times 0,66) \times (0,548 - 0,03))}{(2 \times 0,548) + 0,03 + (0,66(0,548 - 0,03))} \right) \Leftrightarrow$$

$$K_{1\text{eff}} = 0,548 \times \frac{0,442}{1,468} = 0,165 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Densidade efetiva

$$\rho_{\text{eff}} = \rho \times (1 - \varepsilon) \quad (37)$$

Em que:

- ρ_{eff} – Densidade efectiva = densidade do alimento dentro do frasco (kg.m^{-3})
- ρ – Densidade (kg.m^{-3})
- ε – Fração volúmica de vazio (adimensional)

$$\rho_{\text{eff}} = 1033,87 \times (1 - 0,66) = 351,52$$

Cálculo da duração da operação de arrefecimento e refrigeração dos produtos hortofrutícolas

Para este cálculo é necessário ter em consideração alguns fatores. Um deles a transferência de calor através da superfície dos alimentos. Aqui a taxa de refrigeração depende da eficiência com que a energia de dissipação á superfície. O coeficiente de transferência de calor (h) mede a eficiência dessa dissipação. Existe forma de determinar experimentalmente o h , mas também existem valores tabelados e de fácil recurso, não sendo necessário efetuar esses cálculos. O h depende da velocidade de circulação do fluido em que se encontra imerso o produto que sofre o arrefecimento. No projeto a ser realizado, é utilizado ar para a refrigeração e a sua circulação é feita de um modo de convecção natural (velocidade do ar inferior a 0,4m/s) e para esta velocidade os valores de h estão compreendido entre 2 e 12 $\text{W.m}^{-2}.\text{°C}$ (Martins, 2000). Assim, no trabalho a realizado tomamos como base um valor intermédio, 7 $\text{W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$. Para os cálculos serão utilizados os dados do frasco, sendo que são o suporte para os nossos hortofrutícolas. Será utilizada uma massa teórica de pera por frasco, como realizado no dimensionamento do equipamento. O raio do frasco é de 0,06m e a massa

teórica é de 0,750kg. O tempo de refrigeração foi calculado através do método das meias vidas, como descrito em Martins, 2000.

A fração de refrigeração por completar é dada pela equação:

$$Y_c = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} \quad (38)$$

Em que:

- Y_c – Fração de refrigeração por completar
- T_c – Temperatura do centro térmico (°C)
- T_a – Temperatura do meio arrefecedor térmico (°C)
- T_i – Temperatura inicial (°C)

Dados: $T_c = 1^\circ\text{C}$; $T_a = 0^\circ\text{C}$; $T_i = 22^\circ\text{C}$

$$Y_c = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} \Leftrightarrow Y_c = \frac{1 - 0}{22 - 0} \Leftrightarrow Y_c = 0,045$$

Calcular do número adimensional de Biot foi feito com recurso à equação 39

$$Bi = \frac{h \times R}{k} \quad (39)$$

Em que:

- Bi – Número adimensional de Biot
- h – Coeficiente de transferência de calor à superfície ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
- R – Dimensão característica do frasco (m)
- k – Condutividade térmica ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

Dados: $h = 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$; $R = 0,06 \text{ m}$; $K_{\text{eff}} = 0,165 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

$$Bi = \frac{7 \times 0,06}{0,165} \Leftrightarrow Bi = 2,55$$

Determinar o fator de forma, E

- Determinar β_1

$$\beta_1 = \frac{A}{\pi \times R^2} \quad (40)$$

Em que:

- β_1 – Factor que permite calcular E , que depende da área de secção crítica
- A – Área de secção crítica do frasco (m^2)
- R – Dimensão característica do frasco (m)

$$\beta_1 = \frac{0,0264}{\pi \times 0,06^2} = 2,334$$

- Determinar β_2

$$\beta_2 = \frac{3 \cdot V}{4\pi \times \beta_1 \times R^3} \quad (41)$$

Em que:

- β_2 – Fator que permite calcular E , que depende do volume a refrigerar
- V – Volume do frasco (m^3)
- R – Dimensão característica (m)

$$\beta_2 = \frac{3 \cdot 0,00215}{4\pi \times 2,334 \times 0,06^3} \Leftrightarrow \beta_2 = 1,018$$

- Determinar E

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + 2 \cdot \frac{\beta_1}{Bi}} + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + 2 \cdot \frac{\beta_2}{Bi}} \quad (42)$$

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{2,55}}{2,334^2 + 2 \times \frac{2,334}{2,55}} + \frac{1 + \frac{2}{2,55}}{1,018^2 + 2 \times \frac{1,018}{2,55}} \Leftrightarrow E = 2,22$$

Ir ao nomograma e retirar o valor de N (meias vidas) em anexo 6, figura 31

$$\left. \begin{array}{l} Y = 0,045 \\ E = 2,22 \\ Bi = 2,55 \end{array} \right\} \quad N = 4$$

Calcular o número adimensional de Fourier da meia vida

Para este cálculo, é necessário consultar a tabela de relação entre os valores de Bi, $Fo_{(1/2)}(\text{folha})$ e $Fo_{(1/2)}(\text{esfera})$ que consta em Martins, 2000. Neste caso e considerando o frasco como o objeto em estudo, existem superfícies planas, é utilizado o $Fo_{(1/2)}(\text{folha})$ e um Bi igual a 2,55. Feita uma interpolação o $Fo_{(1/2)}(\text{folha})$ é 0,526.

$$F_{01/2} = \frac{F_{01/2}(\text{plano})}{E} \quad (43)$$

$$F_{01/2} = \frac{0,526}{2,22} = 0,237$$

Determinar o tempo da meia vida

$$t_{1/2} = \frac{F_{01/2} \cdot \rho_{\text{eff}} \cdot C_{\text{eff}} \cdot R^2}{K_{\text{eff}}} \quad (44)$$

Em que:

- $t_{1/2}$ – Tempo da meia vida ou meio tempo de arrefecimento
- $F_{01/2}$ – Número de Furrier da meia vida
- ρ_{eff} – Densidade do alimento no frasco ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- C_{eff} – Calor específico do alimento no frasco ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
- R – Dimensão característica (m)
- K_{eff} – Condutividade térmica do alimento embalado ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

Dados: $F_{01/2} = 0,237$; $\rho_{\text{eff}} = 351,52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $C_{\text{eff}} = 3767,78 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$; $R = 0,06 \text{ m}$; $K_{\text{1eff}} = 0,165 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

$$t_{1/2} = \frac{F_{01/2} \cdot \rho_{\text{eff}} \cdot C_{\text{eff}} \cdot R^2}{K_{\text{eff}}} \quad (45)$$

$$t_{1/2} = \frac{0,237 \times 351,52 \times 3768 \times (0,06^2)}{0,165} = 6848,6 \text{ s} = 1,90 \text{ h}$$

Tempo até atingir 0 °C

$$t = N \cdot t_{1/2} \quad (46)$$

$$t = 4 \times 6848,61 = 27394,4 \text{ s} = 7,60 \text{ h}$$

Este foram os resultados obtidos para a pera e procedendo da mesma forma, foi possível chegar aos resultados para a batata e o morango.

Batata

No caso da batata, o meio tempo de arrefecimento foi calculado com o recurso há equação 45, tendo-se obtido uma valor estimado de 1,83 h.

$$t_{1/2} = \frac{0,229 \times 349,35 \times 3512,8 \times (0,06^2)}{0,154} = 6569,3 \text{ s} = 1,83 \text{ h}$$

Para o cálculo do tempo para atingir 0 °C foi de 6,84h, utilizou-se a equação 46 e o cálculo o seguinte:

$$t = 4 \times 4927,09 = 24635,45 \text{ s} = 7,30 \text{ h}$$

Morango

Para o morango, o meio tempo de arrefecimento foi calculado com o recurso há equação 45, tendo-se obtido uma valor estimado de 1,95 h.

$$t_{1/2} = \frac{0,237 \times 347,38 \times 3906,78 \times (0,06^2)}{0,165} = 7017,6 \text{ s} = 1,95 \text{ h}$$

Para o cálculo do tempo para atingir 0 °C foi de 7,80 horas, utilizou-se a equação 46 e o cálculo o seguinte:

$$t = 5 \times 7017,6 = 28070,5 \text{ s} = 7,80 \text{ h}$$

Realizados os cálculos teóricos para os 3 hortofrutícolas, foi realizada a atividade experimental. Para cada hortofrutícola foram realizados 3 ensaios para massas distintas, onde o *target* era perceber por quanto tempo ocorre o arrefecimento no equipamento dimensionado até à temperatura entre 0 e 1 °C, os resultados obtidos foram tratados e encontram-se nos anexos 7, 8 e 9. Com os dados relativos a todos ensaios para cada hortofrutícola, executou-se um gráfico de comparação entre as curvas para as diferentes massas de cada produto, de modo a aferir se a massa teria uma influência importante na variação do tempo de arrefecimento dos produtos e como ocorria essa variação. Foi possível, ao mesmo tempo, e realizando alguns cálculos obter a fração de refrigeração por completar e o meio tempo de arrefecimento. Para esse cálculo foram utilizada as seguintes equações:

Para a fração de refrigeração para completar, foi utilizada a equação 40 e para o meio tempo de arrefecimento utilizou-se a seguinte equação (Martins, 2000):

$$t_{1/2} = 0,693 \times \frac{t_2 - t_1}{\ln Y_1 - \ln Y_2} \quad (47)$$

Em que:

- $t_{1/2}$ – É meio tempo de arrefecimento
- t_2 – Tempo no momento 2
- t_1 – Tempo no momento 1
- $\ln Y_1$ – É o logaritmo da fração de refrigeração por completar no ponto 1
- $\ln Y_2$ – É o logaritmo da fração de refrigeração por completar no ponto 2

No quadro 20 serão codificadas as amostras dos 3 hortofrutícolas em estudo, de modo a facilitar a análise.

Quadro 20- codificação das amostras que estarão em teste

Hortofrutícolas	Amostras
Pera	P1- amostra de pera com cerca de 0,080kg
	P2- amostra de pera com cerca de 0,250kg
	P3- amostra de pera com cerca de 0,550kg
Batata	B1- amostra de batata com cerca de 0,090kg
	B2- amostra de batata com cerca de 0,200kg
	B3- amostra de batata com cerca de 0,500kg
Morango	M1- amostra de morango com cerca de 0,090kg
	M2- amostra de morango com cerca de 0,200kg
	M3- amostra de morango com cerca de 0,400kg

Pera

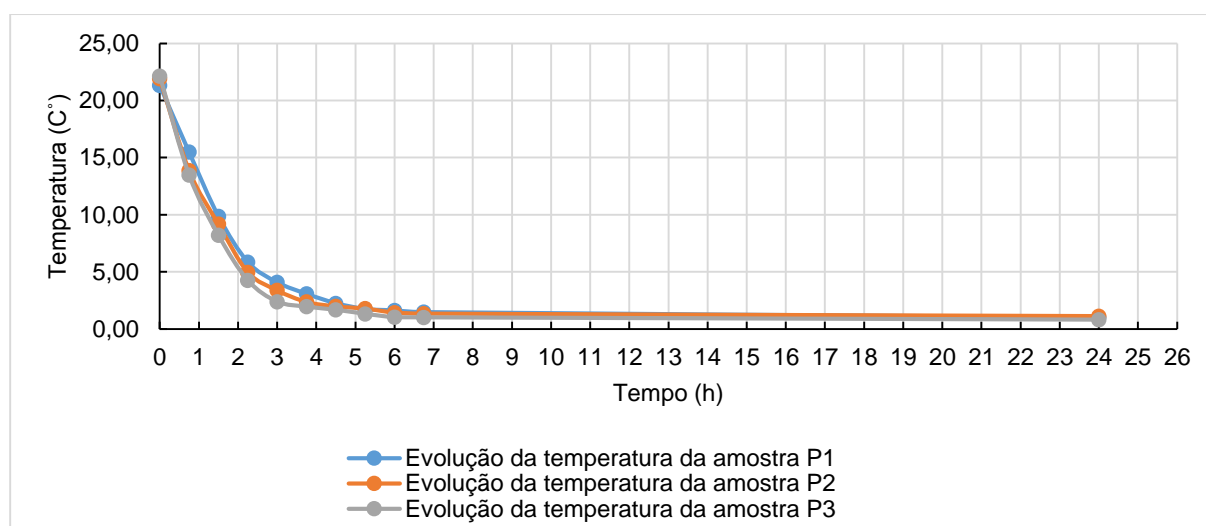


Figura 25- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de pera.

Da observação do gráfico relativo as amostras de pera, a principal ilação a tirar, é que a variação na massa de cerca de 0,400 kg, não criou uma diferenciação muito significativa na evolução da temperatura entre os 3 ensaios, porque ao fim de praticamente 7 horas a temperatura já estava nos 3 casos em torno de 1 °C e ao fim de 24 horas já rondavam os 0 °C, curiosidade para o caso da

amostra P3, logo com maior massa ter sido onde a temperatura desceu mais perto dos 0 °C. Este é então o dado relevante desta comparação dos 3 ensaios, onde o aumento da massa fez com que para o mesmo ponto de medição a temperatura fosse sempre inferior no caso de maior massa.

Ora como já enunciado o processo de refrigeração no equipamento processa-se por convecção e condução. Por convecção natural, provavelmente pelo ar parado que está no interior dos frascos, onde a transferência de calor dá-se do fruto para o ar no frasco e do frasco para o exterior. No caso do equipamento dimensionado, este será o método responsável por retirar a menor fração de calor ao sistema produzido no frasco.

Por sua vez, existe transferência de calor por condução, onde ocorre troca de calor entre os diversos hortofrutícolas e em simultâneo com o contato direto com os frascos onde estão depositados. Estando os frascos a ser banhados pela solução de refrigeração pelo lado exterior, retirando-lhes calor. Este processo, no que toca à remoção de calor, é o mais eficaz.

Pela observação dos dados recolhidos, o que se pode constatar é que no caso da pera a transferência de calor por condução tem uma grande influência no modo como o calor é retirado ao sistema, ou seja, apesar de o espaço vazio dentro do frasco quando existe maior massa de pera, ser menor, gerando uma menor transferência de calor por convecção, a transferência de calor por condução aumenta porque existe mais hortofrutícolas em contato com o frasco e em contato uns com os outros, não estando assim contemplado o fato de com um maior número de frutos, aumentar a atividade respiratória. Por sua vez, também pode estar algum grau de erro associado, uma vez que o número de frutos dentro do frasco é maior, logo maior heterogeneidade na amostra, quando medida a temperatura.

No quadro seguinte estão enunciados os resultados obtidos a nível experimental até se atingir o meio tempo de arrefecimento:

Quadro 21- Quadro com temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de pera.

Tempo em h	Temper. em °C (P1)	Temper. em °C (P2)	Temper. em °C (P3)	Y (P1)	Y (P2)	Y (P3)	t _{1/2} em h (P1)	t _{1/2} em h (P2)	t _{1/2} em h (P3)
0	21,32	21,90	22,14	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,75	15,48	13,86	13,46	0,72	0,63	0,60	1,60	1,22	1,01
1,5	9,86	9,17	8,20	0,46	0,41	0,36	1,13	0,80	0,74

Assim, pela análise da tabela podemos constatar para as três amostras, numa rápida interpretação, que o meio tempo de arrefecimento se situa em torno de 0,75 a 1,5h, uma vez que a redução para metade da temperatura se situa em torno dos 11°C e assim se pode aferir essa aproximação. Em comparação ao resultado teórico, para uma massa de 0,750 kg, ou seja superior a qualquer uma das amostras, seria de esperar um t_{1/2} de 1,90 h, nas amostras o maior tempo de arrefecimento encontrado não será superior a 1h. Uma vez que se trata de um equipamento experimental, onde o objetivo é efetuar testes de arrefecimento e refrigeração, o resultado obtido foi um tempo menor para a temperatura estar entre 0 e 1 °C. O que por si só, é benéfico, uma vez que existe a poupança de tempo nos ensaios e a possibilidade de prever quanto tempo demorará uma

amostra de pera com massa similar a chegar em torno dessa temperatura, numa futura utilização do equipamento.

Batata

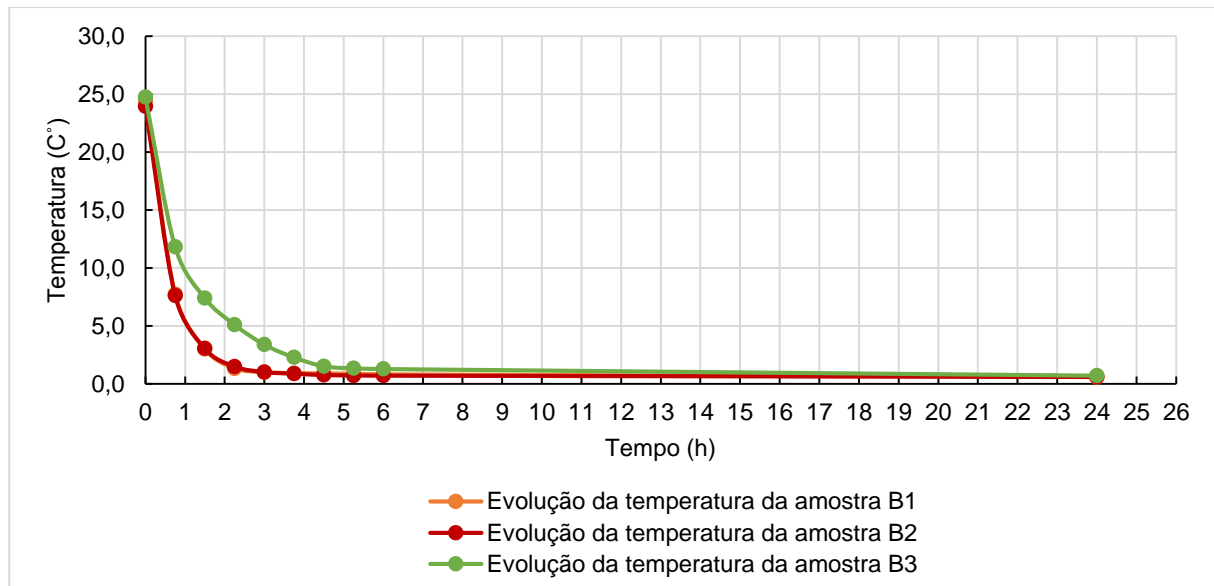


Figura 26- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de batata.

No caso da batata, parece haver uma inversão em relação à pera, onde a amostra com maior massa leva maior tempo a arrefecer. Por exemplo, na primeira medição após ter sido iniciado o arrefecimento a diferença entre a massa maior e as mais pequenas já se situava em cerca de 4 graus. Ou seja, neste caso a refrigeração por condução não é tão eficaz. De notar que a batata na sua constituição tem menos água que a pera e isso pode ser um fator de uma menor transmissão de calor, uma vez que a água tem um elevado coeficiente de transferência de calor. A juntar, o fato de a batata utilizada ser de menor dimensão que a pera e com um formato mais uniforme, o que leva a um menor espaço entre as batatas, tendo o ar maior dificuldade em circular, logo neste teste observou-se que tanto a refrigeração por condução ou convecção, diminui de eficácia com o aumento da massa da amostra. Na batata efetuou-se um teste até às 72 horas, ou seja foi prolongado por 3 vezes o tempo habitual de todos os outros testes efetuados. Foi realizado com a amostra P3, onde pela observação do gráfico e do resultado, é a amostra que tem um arrefecimento mais lento, e assim era possível testar mais eficazmente o equipamento, uma vez que a capacidade de retirar calor do equipamento teria de ser superior. Ou seja com este teste o objetivo era perceber se ao fim de 72 horas o equipamento ainda mantinha a capacidade de refrigeração de produtos e sua estabilização. O resultado obtido foi o desejado, demonstrando-se que no futuro, o equipamento tem todas as condições para realizar testes mais prolongados do que as 24 horas. Ou seja aliou a sua capacidade de arrefecimento, há capacidade de manter uma temperatura de refrigeração por um período mais prolongado.

Como realizado na pera, no seguinte quadro estão enunciados os resultados obtidos a nível experimental para a fração de refrigeração por completar e o meio tempo de arrefecimento:

Quadro 22- Quadro onde é enunciado as temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de batata

Tempo em h	Temper. em °C (B1)	Temper. em °C (B2)	Temper. em °C (B3)	Y (P1)	Y (P2)	Y (P3)	t _{1/2} em h (B1)	t _{1/2} em h (B2)	t _{1/2} em h (B3)
0	24,45	23,95	24,75	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,75	7,73	7,64	11,84	0,31	0,31	0,47	0,69	0,45	0,52
1,5	3,01	3,06	7,41	0,11	0,12	0,29	1,07	0,53	0,56

No caso da batata, ao analisar os resultados obtidos podemos constatar que o meio tempo de arrefecimento se situa inferior a 0,75 h, inferior ao das amostras de pera e comparando com a teoria deveria dar em torno de 1,83 h, mais uma vez os valores foram bem inferiores. De notar que neste caso parece haver um erro experimental, uma vez que o valor $t_{1/2}$ da amostra B3 daria sempre superior ao da amostra B1, o que não se verifica, porque observando o gráfico o meio tempo de arrefecimento deverá situar-se em torno de 0,70 h para a amostra B3 e a de B1 em torno de 0,50 h. Novamente, nos testes realizados, é motivo de satisfação o fato de ser observado um rápido arrefecimento, o que é de enaltecer, mostrando que efetivamente o equipamento tem a capacidade de fazer uma rápido e eficaz arrefecimento das batatas.

Morango

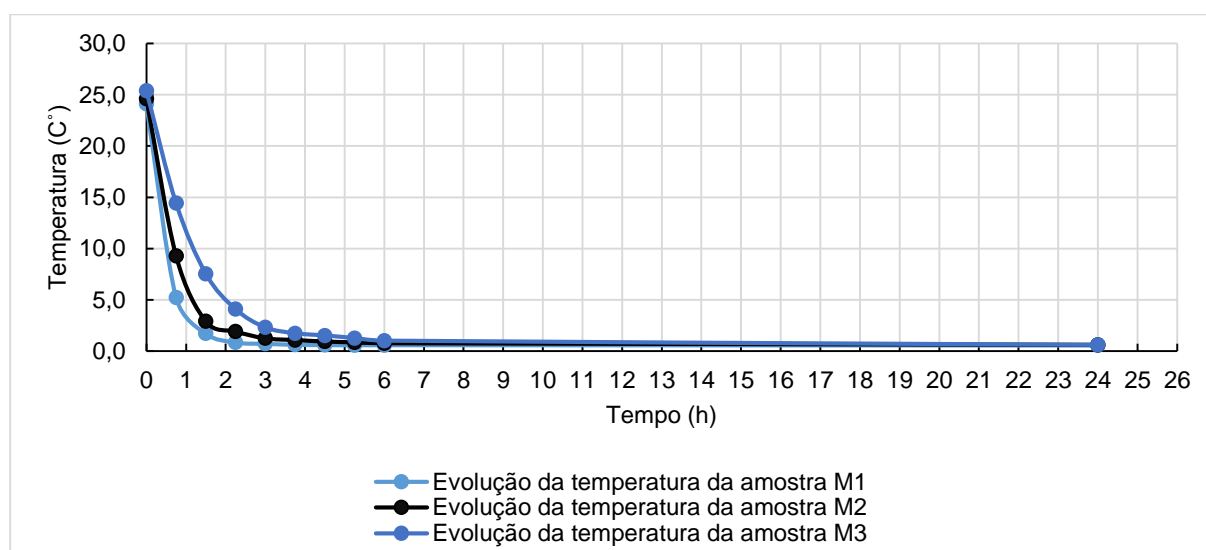


Figura 27- Comparação entre as evoluções médias da temperatura para massas distintas de morango.

O caso do morango os resultados obtidos são aqueles que estão mais de acordo com o expectável, ou seja, a maior massa levará a uma diminuição de temperatura mais lenta. Ou seja, ao fim de cerca de 1 hora do início do arrefecimento, na amostra M1 a temperatura em média era 1,7 °C, na M2 de 2,9 °C e na M3 de 7,5 °C de temperatura. Assim é possível constatar que aqui a massa tem uma correlação negativa com a capacidade do equipamento em retirar calor ao sistema dentro do frasco. Neste caso a refrigeração é mais lenta, quando a massa aumenta, uma vez que tendo em consideração o tamanho do morango, é bem mais pequeno que a pera e para obter

aproximadamente a mesma massa, são utilizados mais frutos, logo a sua sobreposição aumenta a resistência ao seu arrefecimento. Para isso contribui também o facto de o morango naturalmente ter uma taxa de respiração muito elevada e assim com o aumento do número de frutos, existe uma maior respiração por parte dos morangos e consequentemente um aumento da temperatura nos frutos.

No geral, as amostras de morango arrefeceram mais rapidamente que as amostras de pera e de batata e isso acontece porque o morango ao ter uma dimensão mais reduzida e sendo constituído maioritariamente por água, leva menos tempo a atingir temperaturas mais baixas no centro térmico, apesar da elevada taxa de respiração, prevalecendo a transferência de calor por condução.

Quadro 23- Quadro onde é enunciado as temperaturas, a fração por refrigerar e o meio tempo de arrefecimento das amostras de morango

Tempo em h	Temper. em °C (M1)	Temper. em °C (M2)	Temper. em °C (M3)	Y (M1)	Y (M2)	Y (M3)	t _{1/2} em h (M1)	t _{1/2} em h (M2)	t _{1/2} em h (M3)
0	24,10	24,60	25,40	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,75	5,21	9,28	14,42	0,21	0,37	0,56	0,42	0,42	0,79
1,5	1,70	2,89	7,53	0,06	0,11	0,29	0,56	1,09	0,84

No caso do morango os resultados obtidos para o $t_{1/2}$, foram bem inferiores ao valor teórico calculado, cerca de 1,95 h, e o que se constata é que existe um aumento para o $t_{1/2}$, quando aumento a massa, porque neste caso, para as amostra M1 e M2, esse valor é sempre inferior a 0,75 h e no caso da amostra M3 o valor já ultrapassa as 0,75 h, mesmo assim muito distante das 1,95 h espetáveis. O que demonstra a boa capacidade de arrefecimento de pequenas massas de amostra por parte do equipamento.

Por fim e após realizados os testes aos 3 produtos hortofrutícolas um modo geral, o teste para avaliar a uniformidade do arrefecimento e capacidade de retirar calor aos produtos hortofrutícolas pelo sistema de refrigeração instalado, era o mais relevante para o dimensionamento realizado no presente trabalho. O objetivo passava por perceber se o equipamento efetivamente tinha a capacidade de arrefecer e de manter temperaturas de refrigeração nos hortofrutícolas dentro dos frascos e estimar um tempo de espera para se efetuar estudos de conservação pós-colheita e não só de arrefecimento. Portanto, com este teste é possível simular um tempo de arrefecimento logo após a colheita, de uma determinada massa de hortofrutícolas em escala experimental, podendo posteriormente ser reproduzida para a escala piloto e assim sucessivamente até chegar a uma escala industrial. A estabilização durante um período de tempo alargado permite constatar que de fato o equipamento tem essa capacidade e que é possível realizar vários tipos de testes que impliquem a manutenção de uma temperatura baixa por um período prolongado. Por exemplo na batata, com massa mais elevada, o teste foi estendido até às 72 horas e a temperatura manteve-se constante.

6 CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho incidiu no dimensionamento e construção de um equipamento a nível experimental. Este tem como função efetuar estudos de arrefecimento e manutenção de temperaturas de refrigeração em produtos hortofrutícolas.

Os objetivos do trabalho foram cumpridos e as metas estabelecidas atingidas. Era necessário projetar e dimensionar a um nível primário o equipamento, onde foi realizado, primeiro uma pesquisa de que frascos utilizar no equipamento e que tipos de hortofrutícolas poderiam ser colocados lá para se efetuar um estudo. Tendo por base de cálculo cerca de 0,750 kg de produto a distribuir pelos frascos, foram selecionados 12 frascos de vidro com cerca de 0,00215 m³ de volume e com um fecho que possibilitasse uma boa estanqueidade aos mesmos.

Posteriormente, foi idealizado uma estrutura que suporta-se os frascos e todo o sistema de frio que seria instalado. Para o efeito foram realizados cálculos para a área útil que terá cerca de 5 m² de área e 0,528 m³ de volume, área esta de aço inoxidável, onde serão realizados os testes e serão colocados os 12 frascos apoiados numa grelha que efetuará a divisão para as tubagens do sistema de frio instalado.

Seguidamente o isolamento e área exterior foram calculados e descritos. O isolamento possuirá no pavimento e teto 60 mm de espessura e nas paredes 90 mm, já o material que foi utilizado foi o poliuretano, por todas as suas propriedades de bom isolante térmico. Por fim a área exterior do equipamento, corresponde à soma das partes anteriores (área útil e isolamento) e uma última camada, um revestimento em alumínio que foi instalado, ficando assim o core do equipamento robusto e com 7,12 m² de área.

Para o sistema de frio a ser dimensionado, foi realizada uma previsão teórica de capacidade mínima que teria de deter o sistema de frio para retirar calor aos produtos hortofrutícolas. Para isso foram discriminadas todas as cargas térmicas inerentes ao equipamento e chegou-se à conclusão que a carga com maior expressão será a carga térmica devida à refrigeração da solução que circula no equipamento e que representa cerca de 85% do total de cargas a retirar. No total seria necessário instalar um sistema de refrigeração com a capacidade de retirar cerca de 775 W de carga térmica à unidade. Calculado foi também a potência mínima que teria de ter o compressor a ser instalado, tendo em conta as cargas a retirar e chegou-se à conclusão que teria de ter no mínimo 217 W de potência.

Para fechar o capítulo do dimensionamento e construção do equipamento experimental foram descritos os vários componentes que constituem o sistema de frio instalado. Começando pela unidade de refrigeração que utiliza como gás refrigerante o R404a e tem como componentes integrados, um compressor, um evaporador e condensador, uma válvula de expansão, um pressostato e um filtro desidratante. O sistema de refrigeração fica completo com a inclusão do sistema de circulação da solução (bomba de circulação e tubagens) e o mecanismo de funcionamento foi descrito. Por fim foi realizada uma breve descrição da central de controlo do sistema.

Depois de dimensionado e construído, o equipamento foi testado. No primeiro e segundo testes a diferenciação era o volume de solução utilizado, no primeiro era cerca de 0,250 m³ e no

segundo 0,500 m³, mas o objetivo final dos testes era análogo, o de verificar a estanqueidade do equipamento e a capacidade de refrigeração da solução por parte do sistema instalado. Como resultados, em ambos os casos, o equipamento demonstrou estar completamente estanque e com robustez para sustentar a solução no seu interior. Em relação há capacidade de refrigeração, com 0,250 m³ a solução levou cerca de 135 minutos a ficar em torno de 0 °C, enquanto com 0,500 m³ demorou cerca de 255 minutos. Assim é possível verificar que com o dobro do volume de solução, o equipamento levou perto do dobro do tempo a atingir a mesma temperatura, mas mesmo assim chegando a um tempo razoável, entre 4 a 5 horas, para estabilizar e ser possível iniciar testes de refrigeração de produtos hortofrutícolas.

O terceiro teste tinha um objetivo simples, que era avaliar se o equipamento tem a capacidade de manter constante a temperatura num determinado período de tempo e ao mesmo tempo verificar a homogeneidade de temperatura nos 12 orifícios, para perceber se o fluxo criado pela circulação de água teria alguma influência em futuros testes. O teste foi realizado durante 48 horas, com intervalos diferenciados de medição, que para o resultado pretendido não era relevante. Demonstrou-se neste teste que a temperatura era uniforme em todos os orifícios do equipamento e que o fluxo criado pela circulação da solução, não era suficientemente alto para criar pontos de diferencial de temperatura, que era o resultado pretendido, para haver uma melhor homogeneização na temperatura em torno dos frascos que irão conter a amostra de produto.

O quarto teste e último teste era aferir que o sistema tinha a capacidade de efetuar o arrefecimento e manutenção em temperaturas de refrigeração em produtos hortofrutícolas. Foram utilizados 3 produtos com características diferentes, a pera, a batata e o morango, onde cada produto teve em análise 3 amostra de massa distintas, para comparação. Antes de entrar na parte prática foi realizado um cálculo para chegar a um meio tempo de arrefecimento teórico e posteriormente partiu-se então para a realização dos testes.

Na pera verificou-se que as amostras tiveram uma evolução muito semelhante, percebendo-se que a massa, a este nível experimental, não terá grande influência no arrefecimento. A amostra com maior massa arrefeceu um pouco mais, o que pode ser explicado pela maior heterogeneidade, devido há quantidade de frutos ser maior, ou devido à transferência de calor por condução aqui ter um efeito preponderante. Em relação ao meio tempo de arrefecimento é de referir que foi inferior ao calculado teoricamente, o que é um bom resultado.

No caso da batata, o resultado obtido indica que a massa tem alguma influência na resistência ao arrefecimento. Ou seja, neste caso foi visível a diferença de arrefecimento entre as amostras, principalmente entre a amostra com maior massa e as outras duas. No caso da amostra com maior massa, chegou a haver uma diferença de 4 graus, em média, no mesmo ponto de medição. Assim, com a amostra que demonstrou maior resistência foi realizado um teste, para perceber se o equipamento ao fim 72 horas ainda mantinha estável a temperatura entre 0 e 1 °C, o que foi verificado ser uma realidade, que por si só, é um bom resultado, demonstrando a capacidade do equipamento trabalhar em períodos mais longos, com temperaturas constantes no produto. No caso da batata o meio tempo de arrefecimento também foi inferior ao calculado teoricamente, o que é um bom resultado.

Por fim o teste realizado com o morango, conduziu a resultados expectáveis, na medida em que com o aumento da massa da amostra, a resistência ao arrefecimento aumentou também. Neste caso a diferença de temperatura entre amostras, pode ser explicada pela quantidade de morangos que são sobrepostos ser maior na amostra com maior massa, logo maior dificuldade de arrefecimento, a aliar ao fenómeno de respiração, com a respetiva libertação de calor que no morango tem taxas muito altas. No que toca ao meio tempo de arrefecimento o caso foi semelhante aos outros dois produtos, sendo inferior ao valor calculado teoricamente.

Sugestões para trabalhos futuro

O estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação coloca a possibilidade de se perspetivarem trabalhos futuros, no sentido de complementar o trabalho realizado e não só, que poderão basear-se nas seguintes sugestões:

- Efetuar estudos de temperaturas de arrefecimento e conservação pós-colheita em produtos hortofrutícolas, de modo a maximizar a vida útil. A este nível é possível efetuar estudos sem haver um grande desperdício de produtos, podendo ser efetuados estudos sobre a tolerância de refrigeração e/ou alterações celulares devido as temperaturas baixas e consequente perda de qualidade.
- É possível efetuar estudos a temperaturas de refrigeração já pré-definidas para uma determinada espécie de um produto modificada durante a sua cultura e assim prever a sua durabilidade, em comparação com a mesma espécie sem essas modificações.
- Uma vez contruída a base do equipamento é possível fazer evoluções no mesmo. Começando pela utilização das tubagens já instaladas nos frascos, onde é possível fazer modificações de atmosfera e perceber se os frascos são totalmente estanques ao fluxo de gases, posteriormente instalar um medidor de gases que possibilite a recolha de dados e assim realizar trabalhos a temperaturas de refrigeração com atmosfera controlada.
- Realizar testes com diversos binómios temperatura-atmosfera, a um nível laboratorial chegando a resultados que podem ser aplicados a outra escala, com vista a maximização de produções de hortofrutícolas no futuro. A investigação sobre temperaturas e condições de atmosfera controlada é de fato uma utilidade futura deste equipamento, por ser prático na investigação, no ajuste de temperatura e combinações de gás para hortofrutícolas que precisam de ser armazenado sob condições de atmosfera condicionada. Os resultados podem ser obtidos num curto período de tempo e ajudar os produtores e distribuidores no futuro próximo.
- O etileno tem sido estudado devido à sua importância para as culturas hortofrutícolas em geral. No entanto, desde a invenção da cromatografia gasosa moderna, tornou-se uma das técnicas analíticas mais importantes e amplamente aplicada em química moderna. Em hortofrutícolas, o etileno desempenha um papel muito importante, uma vez que está envolvida em processos de maturação e senescência de muitas culturas. Dependendo da situação, o etileno pode ser desejável ou indesejável e o seu efeito pode ser estudado neste equipamento a nível experimental, uma vez que ele é ativado em doses muito reduzidas
- Durante o amadurecimento normal em ar ou durante condições stress, ou sob baixos níveis de O_2 e/ou alto de CO_2 , os hortofrutícolas podem produzir etanol, devido a fermentação que ocorre. O equipamento é útil na investigação não só o metabolismo fermentativo especificamente, mas também para o estudo de várias vias de regulação do metabolismo das culturas de hortofrutícolas, em que estes e outros compostos relacionados estão envolvidos.
- Estudar alterações dos parâmetros de qualidade relacionada com a maturação:

- Compostos voláteis do produto durante várias condições de armazenamento. A emissão de aromas voláteis é um componente muito importante do *flavour* e com este sistema será possível simular várias condições de armazenamento ou de comercialização, que afetem o perfil de aroma e de emissão em hortofrutícolas. Diferentes tratamentos podem ser aplicados nas amostras e a emissão dos aromas voláteis serem retidos no topo dos frascos e posteriormente recolhidos e analisados.
- As alterações de cor, uma vez que os frascos são de vidro transparente, é muito fácil medir essas alterações na cor dos hortofrutícolas, que são armazenados no interior. É simplesmente uma análise fácil de realizar retirando os frascos e observando diretamente.
- Investigações sobre a não utilização de químicos para tratamentos de produtos. As informações relativas ao crescimento e deterioração causada por fungos e doenças bacterianas são importantes para o desenvolvimento de estratégias de controlo de doença prévia e/ou durante o período de armazenamento de hortofrutícolas que impedem ou diminuem as perdas de alimentos e/ou contaminações por toxinas. Com o equipamento que é possível testar várias situações e para obter resultados rápidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M. R.; MOSS, M. O. (2000), *Food Microbiology*. 2ª ed. Royal Society of Chemistry, Londres, Reino Unido.
- ALMEIDA, D. (2005), *Manuseamento de produtos hortofrutícolas*, 1ª edição, SPI - Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S.A., Porto.
- BAPTISTA P.; Campos I.; PIRES I.; VAZ S. (2012), *Do Campo ao Garfo. Desperdício Alimentar em Portugal*. 1ª Ed., Cestras, Lisboa.
- BAPTISTA, P., et al. (2007), *Higiene e Segurança Alimentar na Distribuição de Produtos Alimentares*, Forvisão- Consultoria em Formação Integrada, S.A, Portugal.
- BORGNACKE, S. (2009), *Fundamentals of Thermodynamics*, 7th edition. [S.l.]: Wiley.
- CAVALIERE P.; SQUILLACE A. (2005), *High temperature deformation of friction stir processed 7075 aluminium alloy*, *Materials Characterization*, Vol.55, University of Naples Federico II, Napoli, Campania, Italy.
- CHITARRA, F.M.; CHITARRA, A.B. (1990), *Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças- Fisiologia e Manuseio*, Lavras, pp. 293.
- CODEX ALIMENTARIUS- (1999), *Code of Hygienic Practice for Refrigerated Packaged Foods with Extended Shelf Life*. CAC/RCP 46. pp. 1-20.
- COLLIN, D. (1975), *Applications Frigorifiques*, Tomo 1 e 2, Edition PYC, Paris.
- CORRÊA, J. (2000), *Apostila de Refrigeração e Climatização*, Universidade Federal do Pará – Instituto de Tecnologia.
- DOSSAT, R. J. (2004), *Principles of refrigeration*, Editora Hemus.
- DOSSAT, R. J. (1980), *Principles de Refrigeration*.: John Wiley & Sons, Nova York.
- EL-SONBATY, U. A.; KHASHABA, T; MACHALY, T. (2004), *Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites*, *Composite Structures*, Vol. 63, pp. 329-338.
- FONSECA, S. C. e MORAIS, A.M.M.B. (2000), *Boas Práticas Pós-Colheita para Hortícolas Frescos*. 1ª edição, AESBUC – Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica, Porto.
- GARBUTT, J. (1997), *Essentials of Food Microbiology*, Arnold, Londres, Reino Unido.
- GIOVANNONI, J. (2001) *Molecular biology of fruitmaturation and ripening*. Annu. Rev. PlantPhysiol. Plant Mol. Biol.
- GRUNDFOS (2013), *Grundfos DATA BOOKLET Series 100 Circulator pumps 50/60 Hz*, GRUNDFOS A/S . DK-8850 Bjerringbro, Denmark.
- GUADARRAMA, A. (2001), *Fisiologia postcosecha de frutos*- Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 139 p.
- HARDENBURG, R.E; WATADA, A.E; WANG, C.Y. (1986), *The Commercial Storage of Fruits, vegetables, and Florist and Nursery Stocks*, (USDA Agriculture Handbook, 66), Washington, USDA, 130P.
- HOLMAN, J. P. (1999), *Heat Transfer*, 7th ed., McGraw-Hill, New York.

- HOLMAN, J.P. (1983), *Heat Transfer*, Editora McGraw-Hill, New York.
- HOPKINS, W. G. (2000), *Introduction to Plant Physiology*. 2ª edição., John Wiley & Sons, Inc., New York, 512p.
- INSA (2007), *Tabela de Composição de Alimentos*, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.
- JUNIOR, Luiz (2005), *Refrigeração e Ar Condicionado*, Parte I, II, III, DeTEC.
- KADER, A. A. (2002), Postharvest biology and technology: an overview, *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition, University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, Oakland.
- KADER, A. A. (2007), *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. 3ª edición, Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales.
- KADER, A. A. (2003). *A perspective on postharvest horticulture (1978-2003)*. HortScience 38: 1004-1008p.
- KADER, A.A.; KE, D. (1994), Controlled atmospheres. In: Pauul, R.E & Armstrong, J.W. ed. Insect pests and fresh horticultural products: *treatments and responses*. Wallingford, CAB International. 223-236p.
- KAYS, S. J. (1991), *Postharvest physiology of perishable plant products*, Van Nostrand-Reinhold, Nova Iorque, EUA.
- KLUGE, R.A. et al. (2002), *Fisiología e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado*. Livraria e Ed. Rural, 214p.
- KRATSCH, H.A.; WISE, R.R. (2000), *The ultra structure of chilling stress*. *Plant, cell and environment*, Oxford, v.23, 337-350p.
- LIDON, F.; SILVESTRE, M. (2008), *Conservação de alimentos - princípios e metodologias*, escolar editora, lisboa.
- LÓPEZ, R.A.; RODRÍGUEZ, J., P. Z. (2000), *Productos Vegetales: Regulación de los Procesos Fisiológicos Post-Recolección*, in: Lamúa, M. (Ed.), *Aplicación del Frío a los Alimentos*, AMV Ediciones e Mundi Prensa, Instituto del Frío-Madrid, 69-103 pp.
- MARTINS M.M.; EMPIS J. (2000), *Produtos hortofrutícolas frescos ou minimamente processados: Refrigeração*. Porto: Sociedade Portuguesa de Inovação, 108p.
- OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, Marisa; SPOTO, Marta (2006), *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*, Editora Manole, Ltda, Barueri- Brasil, 612p.
- ORDÓÑEZ, J.; RODRÍGUEZ, M.; ÁLVAREZ, L.; SANS, M.; MINGUILLÓN, G.; PERALES, L.; CORTECERO, M. (1998), *Tecnología de los alimentos- volumen I: componentes de los alimentos y procesos*, Editorial Síntesis, S.A, Madrid, Espanha. 294p.
- PARLAMENTO EUROPEU (2012), Resolução do Parlamento Europeu de 19 de Janeiro de 2012, sobre como evitar o desperdício de alimentos: *estratégias para melhorar a eficiência da cadeia alimentar na UE*. Bruxelas, Bélgica.
- PINTO, P.M.Z.; MORAIS, A.M.M.B. (2000), *Boas Práticas para a conservação de Produtos Hortofrutícolas*. 1ª edição, AESBUC – Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica, Porto.

- PIRANI, M.J. *et al.*, *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*, Rio de Janeiro, Electrobrás, 2005.
- PIRANI, M. J. (2005), *Refrigeração e Ar Condicionado-Parte I Refrigeração*, Universidade Federal da Bahia, Bahia.
- PRUTHI, J. S. (1999), *Quick Freezing Preservation of Foods. Principles Practices R&D Needs. Foods of Plant Origin*. Vol. II., Allied publishers limited, Nova Deli.
- SEYMOUR, R.B.; KAUFFMAN, G.B. (1992), *Polyurethanes: A Class of Modern Versatile Materials*, *journal of chemical education*.
- SILVA, F.M.; MORAIS, A.M.M.B. (2000), *Boas Práticas de Pós-Colheita para Frutos Frescos*. 1ª edição, AESBUC – Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica, Porto.
- THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G.; RUMSEY, T. R.; KASMIRE, R. F.; CRISOSTO, C. H. (2002), *Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers*. Revised edition University of California, *Agriculture and Natural Resources, Publication 21567*, Oakland.
- TROTT A. R; WELCH T. C (1999), *Refrigeration and Air Conditioning*, Edição 3, Editora Butterworth-Heinemann, 377 p.
- WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. (1998), *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. Fourth edition. CAB International, Wallingford, Oxon.

Cibregrafia:

- ABACO R404A GODMOD (2015), disponível em: <https://www.google.pt/search?q=r404a+chart&newwindow=1&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAcQAUoAWoVChMlyOrN3K24yAlVxFsUCh0-1AN3&biw=1366&bih=643#imgsrc=V0kE7BIKDbVGWM%3A>. Acesso: 23/03/15
- AGRICULTURE HANDBOOK NUMBER 66- United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service, Beltsville Area / BARC (2014), disponível em: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/contents.html>. Acesso: 25/01/15
- AIR LIQUIDE (2015), disponível em: <http://www.airliquide.pt/pt/produtos-e-servicos/fichas-de-seguranca/fichas-de-seguranca-de-misturas.html#.VYkMDPm4Rps>. Acesso: 20/03/15
- CARLY (2015), disponível em: <http://pdf.directindustry.es/pdf/carly/filtros-secadores-antiacidos/17640-121563.html>. Acesso: 17/04/15
- CARTA PSICOMÉTRICA VALCOM (2015), disponível em: https://www.google.pt/search?newwindow=1&espv=2&biw=1366&bih=643&tbm=isch&sa=1&q=carta+psicometrica&oq=carta+psicometrica&gs_l=img.3..0i10i30j0i10i24l3.10834.14103.0.14343.18.13.0.1.1.0.365.1517.1j3j1j2.7.0....0...1c.1.64.img..10.8.1518.O9k1TWqbcglg#imgsrc=WQ_1rRz4SPb5rM%3A. Acesso: 20/01/15
- DANFOSS (2015), disponível em: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/8BD970F3-F67A-465F-8814-6C9EAE3397D2/0/Pressos.pdf>. Acesso: 15/03/15
- EMBRACO (2015), disponível em: <http://www.embraco.com/Default.aspx?tabid=109&idcat=3>. Acesso: 26/03/15
- ENGINEERING TOOLBOX (2015)- http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html. Acesso: 11/03/15
- FRIGOMEC- components for refrigeration and air conditioning (2015), disponível em: http://www.frigomec.com/uploads/catalogo_generale_0912.pdf. Acesso: 04/04/15

- HRP- Refrigeration and air conditioning supplies (2015), disponível em: <https://www.hrponline.co.uk/hrp.static/docs/refrigerationcatalogue/Section%2010.pdf>. Acesso: 17/04/15
- INE (2011), *Atividade económica*. Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0004041&contexto=pi&selTab=tab0. Acesso: 13/01/2015
- INE (2014), *Balança Alimentar Portuguesa 2008-2012*. Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas Oficiais, Lisboa, disponível em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=209480091&DESTAQUESmodo=2. Acesso: 12/02/15
- INE (2014), *Estatísticas Agrícolas 2013*. Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas Oficiais, Lisboa, disponível em: https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCYQFjACahUK4yW3rLIAhWEtBQKHxkUBFU&url=https%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfile.jsp%3Flook_parentBoui%3D219238096%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&usg=AFQjCNGRJyt_Uyew62ciGhYvlu5e4J7-5A. Acesso: 11/01/15

8 ANEXOS

Anexo 1

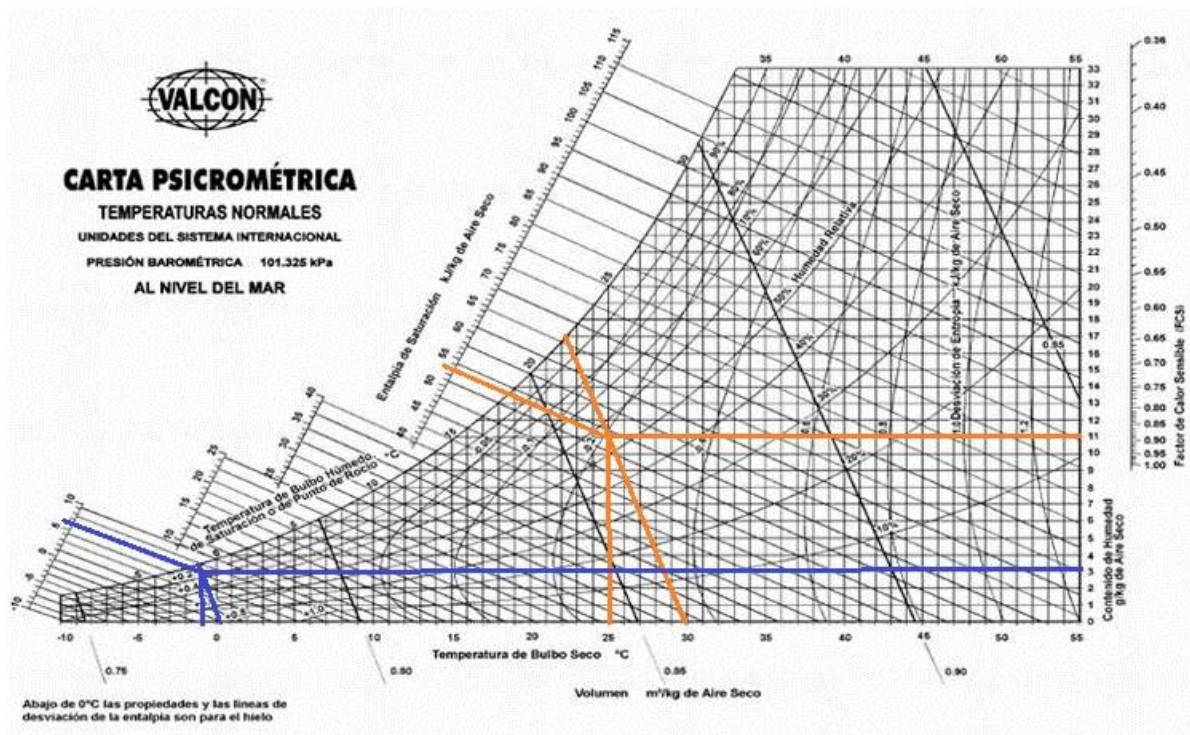


Figura 28- Carta psicométrica de comparação entre o ar exterior a pera a -1°C

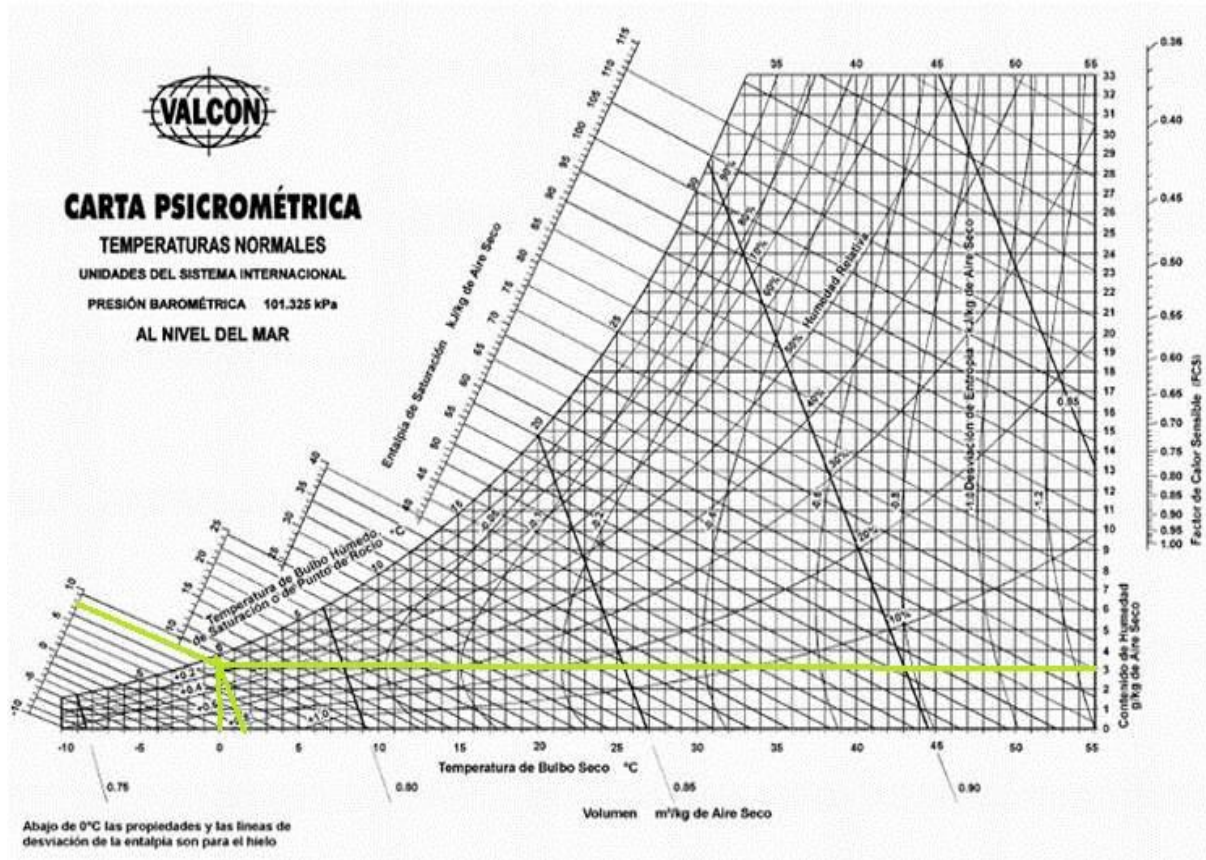


Figura 29- Carta psicométrica para o morango

Anexo 2

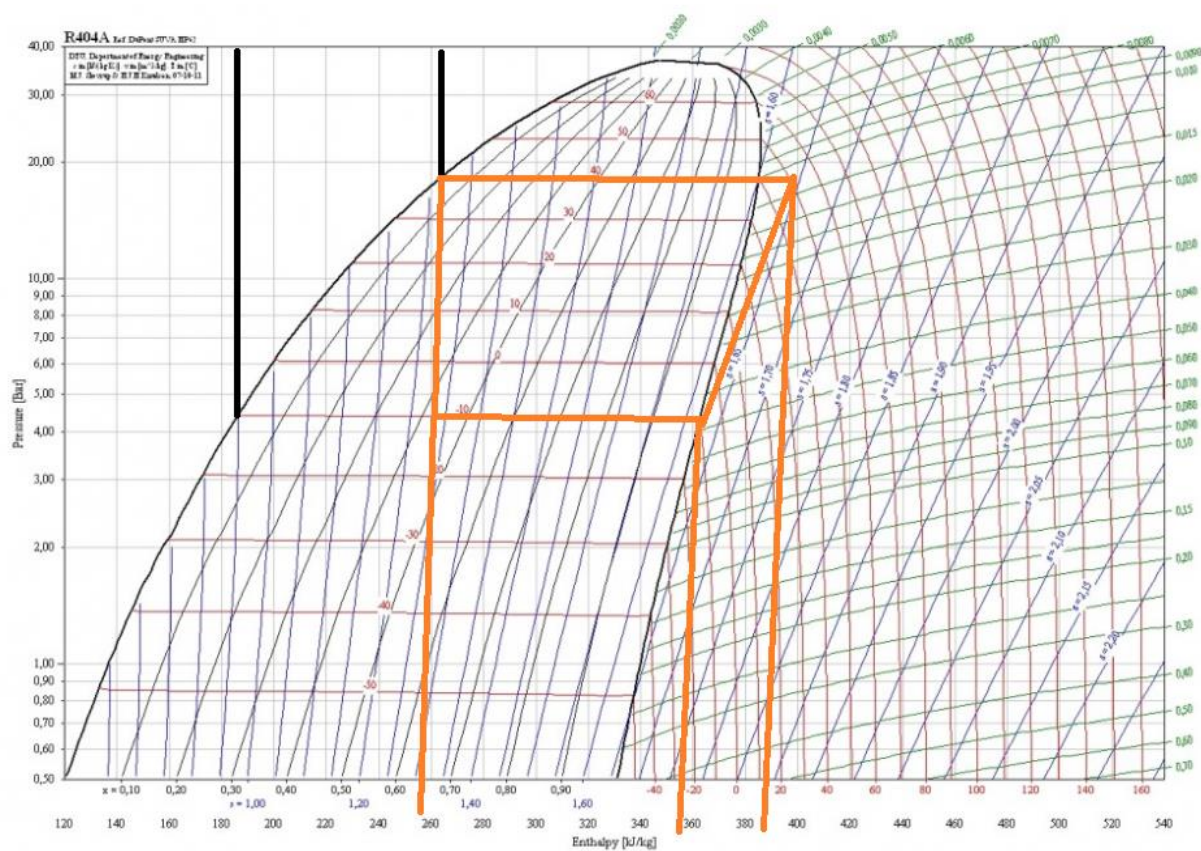


Figura 30- Ábaco para o gás refrigerante R404a

Anexo3

Quadro 24- Quadro de relação entre tempo e temperatura para a avaliação do equipamento com metade da capacidade.

		Orifício											
Tempo (em minutos)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
	15	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	30	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
	45	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	60	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
	75	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
	90	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
	105	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	120	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	135	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	150	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	165	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	180	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	195	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	210	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	225	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	240	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	255	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	270	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	285	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	300	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Anexo 4

Quadro 25- Quadro de relação entre tempo e temperatura para a avaliação do equipamento com capacidade total

		Orifício											
Tempo (em minutos)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
	15	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
	30	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6
	45	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
	60	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	75	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
	90	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
	105	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
	120	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
	135	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	150	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
	165	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
	180	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	195	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
	210	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	225	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	240	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	255	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	270	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	285	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	300	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Anexo 5

Quadro 26- Comparação da evolução da temperatura com 0,250 e 0,500m³ de solução na área útil

		Temperatura com 0,250 m ³	Temperatura com 0,500 m ³
	Tempo (em minutos)		
	0	18,3	19,8
	15	15,4	18,2
	30	11,6	16,6
	45	9,3	15,5
	60	7,2	14
	75	5,8	12,7
	90	4,3	11,3
	105	2,8	9,7
	120	1,5	8,3
	135	0,2	7
	150	0,1	6,3
	165	0,2	5,3
	180	0,4	4
	195	0,2	3,2
	210	0,6	2,2
	225	0,3	1,3
	240	0,1	0,5
	255	0,4	0,1
	270	0,5	0,2
	285	0,2	0,6
	300	0,5	0,3

Anexo 6

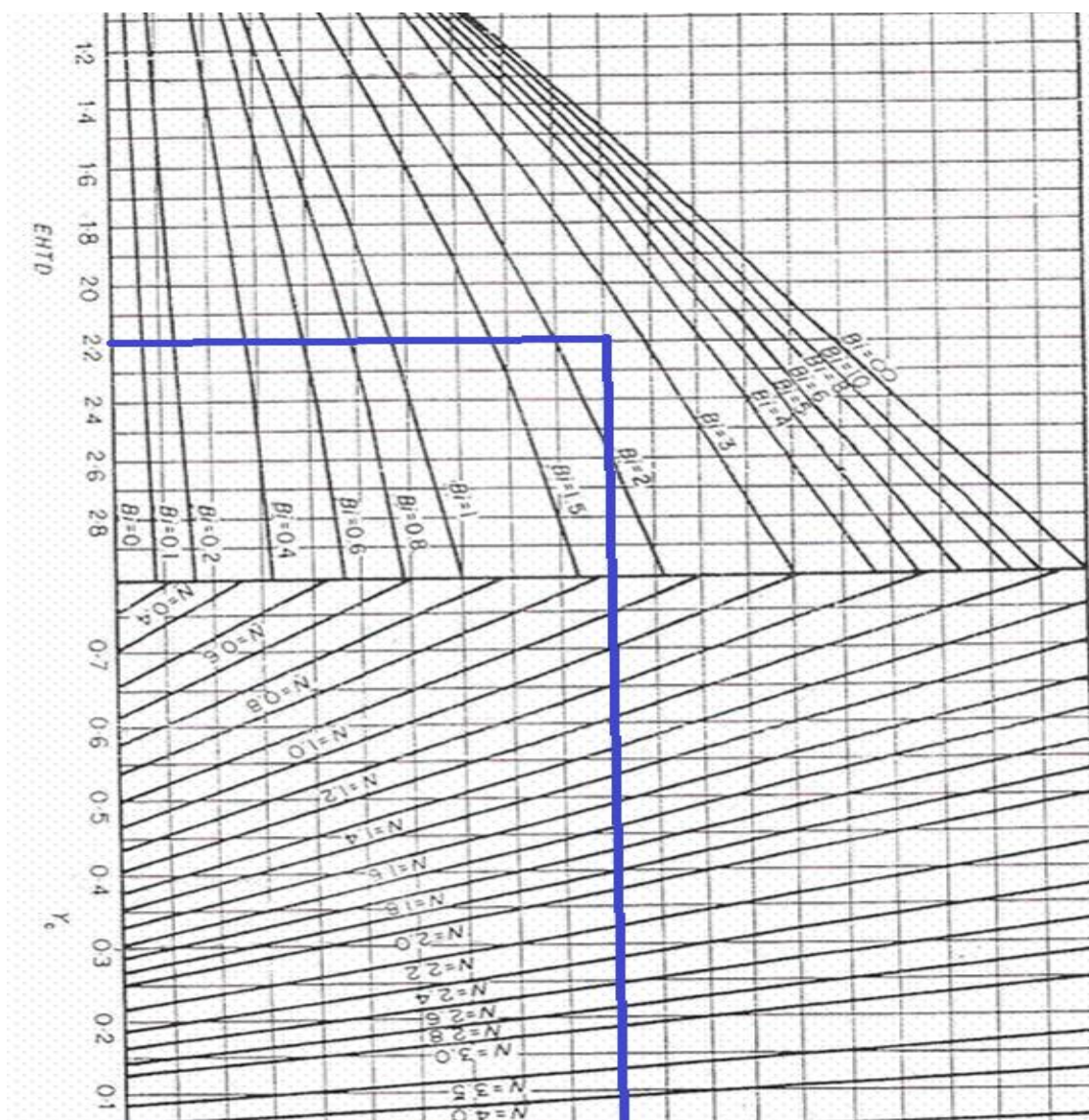


Figura 31- Namograma utilizado no cálculo efetuado no ponto 5.2 para encontra o N.

Anexo 7

Pera:

Produto: pêra; Variedade: rocha; Origem: Portugal; Calibre: 55/60; Categoria: II;
Diâmetro médio: 0,05 m

Amostra P1

Quadro 27- Massa das 6 réplicas da amostra P1

	Massa (Kg)
Réplica 1	0,0785
Réplica 2	0,0751
Réplica 3	0,0794
Réplica 4	0,0853
Réplica 5	0,0896
Réplica 6	0,0857
Média	0,0823
SD	0,0050

Quadro 28- Resultados obtidos para a amostra P1

		Réplica (°C)						Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
		1	2	3	4	5	6			
Tempo (horas)	0	21,2	21,4	21,6	21,2	21,2	21,3	21,3	0,15	0,3
	0,75	15,3	16,9	16,2	15,1	14,2	15,2	15,5	0,85	0,6
	1,5	9,6	10,7	10,1	9,5	9,4	10,0	9,9	0,45	0,5
	2,25	6,1	5,9	5,5	5,4	5,9	6,4	5,9	0,34	0,3
	3	4,3	4,2	3,9	3,7	3,9	4,4	4,1	0,25	0,4
	3,75	3,2	2,9	3,0	2,7	3,1	3,4	3,1	0,21	0,5
	4,5	2,6	2,2	2,0	1,9	2,3	2,4	2,2	0,22	0,3
	5,25	2,0	1,7	1,8	1,4	1,8	1,8	1,7	0,18	0,4
	6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,6	0,12	0,2
	6,75	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,6	1,5	0,09	0,1
	24,00	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,05	0,4

Amostra P2

Quadro 29- Massa das 6 réplicas da amostra P2

	Massa (Kg)
Réplica 1	0,251
Réplica 2	0,243
Réplica 3	0,254
Réplica 4	0,242
Réplica 5	0,243
Réplica 6	0,248
Média	0,247
SD	0,0047

Quadro 30- Resultados obtidos para a amostra P2

		Réplica (°C)						Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
		1	2	3	4	5	6			
Tempo (horas)	0	21,8	22,1	22,0	22,0	21,7	21,8	21,9	0,17	0,3
	0,75	15,0	13,4	14,1	12,9	13,7	14,0	13,9	0,65	0,1
	1,5	10,1	8,5	9,4	8,6	9,1	9,3	9,2	0,54	0,6
	2,25	5,6	4,5	5,3	4,8	5,0	4,7	5,0	0,37	0,6
	3	3,7	3,1	3,5	3,0	3,2	3,7	3,4	0,28	0,5
	3,75	2,6	2,1	2,2	2,0	2,5	2,6	2,4	0,24	0,5
	4,5	2,2	1,9	2,0	1,7	1,8	2,3	2,0	0,20	0,3
	5,25	1,9	1,6	1,9	1,6	1,8	1,8	1,8	0,11	0,1
	6	1,6	1,7	1,1	1,2	1,4	1,5	1,4	0,20	0,3
	6,75	1,5	1,4	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3	0,11	0,4
	24,00	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	0,03	0,4

Amostra P3

Quadro 31- Massa das 6 réplicas da amostra P3

	Massa (kg)
Réplica 1	0,554
Réplica 2	0,536
Réplica 3	0,561
Réplica 4	0,538
Réplica 5	0,534
Réplica 6	0,547
Média	0,545
SD	0,0095

Quadro 32- Resultado obtidos para a amostra P3

		Réplica (°C)						Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
		1	2	3	4	5	6			
Tempo (horas)	0	22,3	22,2	22,1	22,1	22,0	22,1	22,1	0,09	0,3
	0,75	14,8	14,2	13,5	12,4	13,1	12,8	13,5	0,79	0,1
	1,5	9,2	8,5	7,3	8,5	7,8	7,8	8,2	0,61	0,6
	2,25	4,3	5,4	4,4	4,0	3,6	3,7	4,2	0,60	0,6
	3	2,5	2,5	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	0,14	0,5
	3,75	2,0	1,9	2,0	1,7	1,8	2,3	1,9	0,18	0,5
	4,5	1,7	1,7	1,6	1,7	1,5	1,9	1,7	0,12	0,3
	5,25	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,6	1,3	0,13	0,1
	6	1,0	0,9	1,1	0,9	1,1	1,1	1,0	0,08	0,6
	6,75	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,05	0,4
	24,00	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,05	0,3

Quadro 33- Comparação de resultados entre a amostra P1, P2 e P3

Tempo (horas)		Média da evolução da temp. da amostra P1 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra P2 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra P3 (°C)
	0	21,3	21,9	22,1
	0,75	15,5	13,9	13,5
	1,5	9,9	9,2	8,2
	2,25	5,9	5,0	4,2
	3	4,1	3,4	2,4
	3,75	3,1	2,4	1,9
	4,5	2,2	2,0	1,7
	5,25	1,7	1,8	1,3
	6	1,6	1,4	1,0
	6,75	1,5	1,3	1,0
	24	1,0	1,1	0,8

Anexo 8

Batata:

Produto: Batata; Variedade: Maris Peer; Diâmetro médio das batatas: 0,03 m

Amostra B1

Quadro 34- massa das 6 réplicas da amostra B1

	Massa (kg)
Réplica 1	0,090
Réplica 2	0,089
Réplica 3	0,088
Réplica 4	0,090
Réplica 5	0,087
Réplica 6	0,088
Média	0,089
SD	0,0012

Quadro 35- Resultados obtidos para a amostra B1

		Réplica (°C)						Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
		1	2	3	4	5	6			
Tempo (horas)	0	24,5	24,6	24,4	24,3	24,4	24,5	24,5	0,10	0,5
	0,75	8,8	8,6	7,6	7,3	7,1	7,0	7,7	0,70	0,4
	1,5	3,3	3,4	3,3	2,9	2,5	2,8	3,0	0,32	0,3
	2,25	1,5	1,6	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	0,16	0,4
	3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,06	0,1
	3,75	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,02	0,2
	4,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,02	0,3
	5,25	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,01	0,2
	6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,03	0,1
	24	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,2

Amostra B2

Quadro 36- Massa das 6 réplicas da amostra B2

	Massa (kg)
Réplica 1	0,208
Réplica 2	0,201
Réplica 3	0,202
Réplica 4	0,213
Réplica 5	0,215
Réplica 6	0,201
Média	0,207
SD	0,0057

Quadro 37- Resultados obtidos para a amostra B2

		Réplica (°C)						Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
		1	2	3	4	5	6			
Tempo (horas)	0	23,9	24,1	23,8	24,0	23,8	24,1	24,0	0,13	0,5
	0,75	8,3	7,0	6,4	9,0	6,6	8,5	7,6	1,01	0,4
	1,5	3,8	2,7	2,8	2,8	2,9	3,3	3,1	0,39	0,3
	2,25	1,4	1,5	1,3	1,5	1,8	1,5	1,5	0,13	0,4
	3	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,05	0,1
	3,75	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,04	0,2
	4,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,00	0,3
	5,25	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,00	0,2
	6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,02	0,1
	24	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,02	0,2

Amostra B3

Quadro 38- Massa das 6 réplicas da amostra B3

	Massa (kg)
Réplica 1	0,509
Réplica 2	0,510
Réplica 3	0,510
Réplica 4	0,500
Réplica 5	0,504
Réplica 6	0,504
Média	0,506
SD	0,0038

Quadro 39- Resultados obtidos para a amostra B3

Réplica										
		1	2	3	4	5	6	Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
Tempo (horas)	0	24,1	25,6	24,1	25,5	25,3	23,9	24,8	0,73	0,4
	0,75	11,5	12,6	11,4	13,0	11,8	10,8	11,8	0,73	0,4
	1,5	7,2	7,2	7,4	8,2	7,3	7,2	7,4	0,35	0,2
	2,25	4,8	5,2	4,9	5,6	5,0	5,2	5,1	0,28	0,1
	3	3,4	3,7	3,6	3,7	3,5	2,6	3,4	0,38	0,3
	3,75	2,3	2,5	2,5	2,4	2,1	2,1	2,3	0,17	0,4
	4,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,5	0,07	0,4
	5,25	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	0,05	0,2
	6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	0,03	0,3
	24	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,03	0,1
	72	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,01	0,0

Quadro 40- Comparação de resultados entre a amostra B1, B2 e B3

Tempo (horas)		Média da evolução da temp. da amostra B1 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra B2 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra B3 (°C)
	0	24,5	24,0	24,8
	0,75	7,7	7,6	11,8
	1,5	3,0	3,1	7,4
	2,25	1,3	1,5	5,1
	3	1,0	1,0	3,4
	3,75	0,9	0,9	2,3
	4,5	0,9	0,8	1,5
	5,25	0,9	0,7	1,3
	6	0,8	0,7	1,3
	24	0,6	0,6	0,7
	72			0,6

Anexo 9

Morango:

Produto: Morango; Variedade: Camarosa; Origem: Portugal; Diâmetro médio dos morangos: 0,03 m

Amostra M1

	Massa (kg)
Réplica 1	0,091
Réplica 2	0,090
Réplica 3	0,090
Réplica 4	0,090
Réplica 5	0,091
Réplica 6	0,090
Média	0,091
SD	0,00043

Quadro 41- Massa das 6 réplicas da amostra M1

Réplica										
		1	2	3	4	5	6	Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
Tempo (horas)	0	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	0,00	0,3
	0,75	5,1	5,0	5,6	5,3	5,3	5,4	5,2	0,22	0,2
	1,5	2,1	1,5	1,6	1,4	1,8	1,6	1,7	0,23	0,2
	2,25	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,05	0,1
	3	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,08	0,5
	3,75	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,07	0,5
	4,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,3
	5,25	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,2
	6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,2
	24	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,03	0,1

Quadro 42- Resultados obtidos para a amostra M1

Amostra M2

	Massa (kg)
Réplica 1	0,191
Réplica 2	0,191
Réplica 3	0,191
Réplica 4	0,191
Réplica 5	0,200
Réplica 6	0,196
Média	0,193
SD	0,0035

Quadro 43- Massa das 6 réplicas da amostra M2

Réplica										
		1	2	3	4	5	6	Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
Tempo (horas)	0	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	0,00	0,5
	0,75	9,3	9,1	9,5	9,2	9,1	9,4	9,3	0,14	0,4
	1,5	2,7	2,8	3,2	2,7	2,6	3,2	2,9	0,23	0,3
	2,25	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	0,05	0,4
	3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,1	1,2	1,2	0,10	0,1
	3,75	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	0,02	0,2
	4,5	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,03	0,3
	5,25	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,04	0,2
	6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,03	0,1
	24	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,00	0,2

Quadro 44- Resultados obtidos para a amostra M2

Amostra M3

	Massa (kg)
Réplica 1	0,403
Réplica 2	0,402
Réplica 3	0,405
Réplica 4	0,402
Réplica 4	0,405
Réplica 5	0,403
Média	0,403
SD	0,0013

Quadro 45- Massa das 6 réplicas da amostra M3

Réplica										
		1	2	3	4	5	6	Temp. média dos frascos (°C)	SD	Temp. na solução (°C)
Tempo (horas)	0	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	0,00	0,5
	0,75	14,7	14,2	14,4	14,8	14,2	14,4	14,4	0,22	0,4
	1,5	7,1	8,1	7,5	7,0	8,2	7,4	7,5	0,46	0,2
	2,25	3,8	3,9	4,6	4,0	4,2	4,1	4,1	0,25	0,1
	3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,6	2,2	2,3	0,13	0,3
	3,75	1,5	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	0,15	0,4
	4,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	0,04	0,4
	5,25	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,8	1,3	0,20	0,3
	6	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,05	0,3
	24	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,03	0

Quadro 46- Resultados obtidos para a amostra M3

Tempo (horas)		Média da evolução da temp. da amostra M1 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra M2 (°C)	Média da evolução da temp. da amostra M3 (°C)
	0	24,1	24,6	25,4
	0,75	5,2	9,3	14,4
	1,5	1,7	2,9	7,5
	2,25	0,8	1,9	4,1
	3	0,7	1,2	2,3
	3,75	0,6	1,1	1,7
	4,5	0,6	0,9	1,5
	5,25	0,6	0,8	1,3
	6	0,6	0,8	1,0
	24	0,6	0,6	0,6

Quadro 47- Resultados da comparação entre a amostra M1, M2 e M3